

557.510.53(42)  
KJ

## 第10回

# 極域における電離圏磁気圏総合観測 シンポジウム講演要旨

The Tenth Symposium  
on Coordinated Observations of the Ionosphere  
and the Magnetosphere in the Polar Regions

Programme and Abstracts

昭和62年1月26日～1月28日

January 26～January 28, 1987

国立極地研究所図書室



000061531

国立極地研究所

National Institute of Polar Research  
Tokyo, Japan

557.570.53(\*2)  
KY

第10回 極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム

プ ロ グ ラ ム

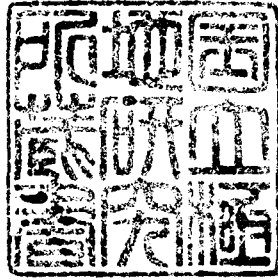
日 時 昭和62年1月26日(月)  
10時00分～18時00分

昭和62年1月27日(火)  
9時45分～18時00分

昭和62年1月28日(水)  
10時00分～18時15分

会 場 国立極地研究所講堂

主 催 国立極地研究所



小 冊 子  
62. 1. 5

第10回 極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム

9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

1 / 26 ( 月 )

所長挨拶	I. オーロラ及び 関連現象 山本達人 (東大・理) 1 ~ 8	総合 討論	昼  食	II. ELF ~ HF 波動現象 森岡 昭 (東北大・理) 田中義人 (名大・空電研) 9 ~ 15	総合 討論	休  憩	III. 南極MAP 観測(中層大気) 深尾昌一郎 (京大・工) 16 ~ 21	総合 討論
------	--	----------	------------	---	----------	------------	--	----------

1 / 27 ( 火 )

IV. 地磁気共役点 観測 斉藤尚生 (東北大・理) 22 ~ 29	総合 討論	昼  食	V. ロケット観測  松本 紘 (京大・超高層) 林 幹治 (東大・理) 30 ~ 39	総合 討論	休  憩	VI. STEP 期間 の極域超高層 観測計画総合 討論 木村磐根 (京大・工)	懇 親 会
--	----------	------------	--	----------	------------	---	-------------

1 / 28 ( 水 )

VII. ULF波動 現象  桜井 亨 (東海大・工) 40 ~ 45	総合 討論	昼  食	VIII. 大気球 観測  福西 浩 (東北大・理) 46 ~ 51	総合 討論	休  憩	IX. 磁気圏・電離圏 擾乱  相京和弘 (電波研) 荒木 徹 (京大・理) 52 ~ 61	総合 討論
--	----------	------------	---	----------	------------	---	----------

講演時間： 講演 13分・討論 2分 (第一鈴 11 分 第二鈴 13 分 第三鈴 15 分)  
総合討論 (各セッション毎に) 30分

《1月26日 (月曜日) 10:00~18:00》

挨拶 国立極地研究所長

I. オーロラ及び関連現象

座長 山本達人(東大・理)

(10:05~12:35)

1. 巻田和男(拓殖大)

ポーラー・キャップオーロラの特性(1)

2. 小野高幸, 平澤威男(極地研)

夕方側ステープルオーロラの構造  
— 6300 Å アークの形態 —

3. 小口 高, 中村るみ, 山本達人  
(東大・理)

オーロラドリフトと磁気圏電場

4. 江尻全機, 小野高幸, 平澤威男(極地研) オーロラ発光とオーロラ粒子  
小口 高(東大・理)

5. 筒井 稔, 浅野弘明, 小川 徹  
(京大・超高層)

極域電離層電流系のシミュレーション  
実験II

6. 金田栄祐(東大・理),  
田鍋浩義, 宮下晴彦(東京天文台)

夜間全天単色撮像観測

7. 金田栄祐, 国分 征, 林 幹治,  
小口 高 (東大・理)

高感度撮像装置によるオーロラ観測

8. 井上雄二(京都産業大・理)

沿磁力線電流系の電流発生源とエネルギー源

II. ELF~HF波動現象

座長 森岡 昭 (東北大・理)

田中義人 (名大・空電研)

(13:30 ~ 15:45)

- |   |   |
|---|---|
| 9. <u>松尾敏郎</u> , 木村磐根(京大・工)   | ISIS 衛星で観測されたコーラスの経度変化                                    |
| 10. 山岸久雄(極地研)   | 極域へ到達するELF ヒスの非ダクト伝播路                                     |
| 11. <u>早川正士</u> , 武藤広泰, 岡田敏美<br>(名大・空電研),<br>島倉 信(千葉大・工)                          | VLF 放射( $f \geq f_{H/2}$ )の off-equatorでの<br>方位測定と伝搬路の逆追跡 |
| 12. 恩藤忠典(電波研)   | 8KHz 以上のオーロラヒスの特性   |
| 13. <u>大村善治</u> (京大・工),<br>松本 紘(京大・超高層)   | 磁気圏におけるホイッスラー波と静電波<br>の不安定性の競合関係                          |
| 14. <u>相京和弘</u> , 恩藤忠典, 大高一弘<br>(電波研)   | 極域低高度( ~600 km )にて観測される<br>LF/MF 帯ホイッスラ・モード放射の特性<br>と伝搬   |
| 15. <u>橋本弘蔵</u> (東京電機大)<br>W. Calvert, R.L.Huff(Univ. of Iowa)                    | DE-1衛星で観測されたZ-モード波につい<br>て                                |
| III. 南極MAP観測(中層大気)  | 座長 深尾昌一郎(京大・工)<br>( 16:00 ~ 18 :00 )                      |
| 16. <u>小川忠彦</u> , 五十嵐喜良, 相京和弘,<br>前野英生(電波研)                                       | 地磁気静穏時における高緯度中規模TID<br>の衛星観測                              |
| 17. <u>田中高史</u> , 小川忠彦, 五十嵐喜良<br>(電波研)<br>藤井良一, 平澤威男(極地研)                         | 流星レーダによる極域中性風の観測  |
| 18. <u>野村彰夫</u> , 鹿野哲生(信州大・工),<br>岩坂泰信(名大・水圏研),<br>福西 浩(東北大・理)<br>平澤威男, 川口貞男(極地研) | 南極中層大気のライダー観測<br>(JARE 26)                                |

- |   |   |
|---|---|
| 19. <u>柴田 隆</u> , 福田光伸, 成瀬 徹,<br>前田三男(九大・工) | ライダーを用いた中層大気重力波の観測                                    |
| 20. <u>岡野章一</u> , 福西 浩, 森岡 昭<br>(東北大・理)     | ファブリーペロードップラーイメージングシステム (FPDIS)の開発と極域熱圏ダイナミックスの観測への応用 |
| 21. <u>川本洋人</u> (京大・理)<br>小川俊雄 (高知大・理)      | 下層大気中の負イオン  |

《1月27日 (火曜日) 9:45~18:00》

IV. 地磁気共役点観測

座長 齊藤尚生 (東北大・理)

(9:45 ~ 12:15)

22. 小野高幸, 平澤威男, 鮎川 勝  
(極地研)

磁場モデル計算による昭和- アイスランド  
共役点の遷移

23. 樋口喜啓(山形大・工)  
佐藤夏雄(極地研)  
渋谷仙吉, 前沢 潔(山形大・理)

CNA 脈動と関連現象の共役性 (I)

24. 永野 宏(朝日大)  
荒木 徹, 家森俊彦(京大・理)  
佐藤夏雄, 鮎川 勝(極地研)

昭和- アイスランドの地磁気共役点での  
SCについて

25. 桜井 亨, 利根川 豊(東海大・工)  
佐藤夏雄(極地研)

Pi 2型磁気脈動の共役性

26. 湯元清文, 齊藤尚生(東北大・理)  
田中義人(名大・空電研),  
L.W.Lynn(Electronics Res.Lab.Defence  
Res. Centre Salisbury Australia)  
F.M.Menk,B.J.Fraser(Department of  
Physics the Univ.of Newcastle,  
Australia)

低緯度磁気共役点で観測されたPc3 波動  
の南北半球非対称性について

27. 鈴木博之, 渋谷仙吉, 前沢 潔  
(山形大・理)  
佐藤夏雄(極地研), 共役点観測グループ

周波数別に見た Polar chorus の季節変  
化と共役性

28. 鈴木博之, 渋谷仙吉, 前沢 潔  
(山形大・理)  
佐藤夏雄(極地研), 共役点観測グループ

周波数別に見た Auroral hiss の季節変  
化と共役性



29. 藤井良一，佐藤夏雄，小野高幸（極地研）オーロラの強度から見た共役性

V. ロケット観測

座長 松本 紘（京大・超高層）

林 幹治（東大・理）

（13:15～16:15）

30. 山岸久雄（極地研） S-310JA-11及び12号ロケット実験時の  
福西 浩（東北大・理） 地上観測によるオーロラ及び関連現象
31. 高橋隆男，遠山文雄（東海大・工） 南極ロケットS-310JA-11,-12号機の姿勢  
藤井良一，山岸久雄（極地研） 測定  
国分 征（東大・理）  
福西 浩（東北大・理）
32. 高橋忠利，福西 浩，大家 寛 南極ロケット(S-310JA-11 及び12) によ  
（東北大・理） るオーロラ電離層電子密度の観測  
渡辺勇三（宇宙研），山岸久雄（極地研）
33. 山岸久雄，宮岡 宏，江尻全機（極地研） 南極ロケット S-310JA-11 及び12号機  
岡村 宏（電通大），佐川永一（電波研） によるオーロラ粒子観測  
向井利典（宇宙研）  
賀谷信幸（神戸大・工）  
福西 浩（東北大・理）
34. 佐川永一（電波研），山岸久雄（極地研） 南極ロケットによる粒子束変動成分の  
福西 浩（東北大・理） 観測  
賀谷信幸（神戸大・工）  
向井利典（宇宙研）
35. 森 弘隆，佐川永一，小川忠彦（電波研） 観測ロケットS-310JA-11,-12号機によ  
小川俊雄（高知大） る低周波プラズマ波動の観測

36. 長野 勇, 山本英子(金沢大・工) S-310JA-11及び12号機による  
橋本弘蔵, 尾崎照幸(東京電機大) オーロラヒス観測  
木村磐根, 松尾敏郎(京大・工)  
山岸久雄(極地研), 福西浩(東北大・理)
37. 森岡 昭, 大家 寛, 福西 浩 極域電離層におけるオーロラプラズマ波  
(東北大・理) 動の観測  
宮岡 宏, 小野高幸, 山岸久雄(極地研) — S-310JA-11/12による結果—  
小原隆博(宇宙研)
38. 遠山文雄, 高橋隆男(東海大・工) S-310JA-12号機により観測されたオー  
藤井良一, 山岸久雄(極地研) ロラ電流系による磁場変動  
国分征(東大・理), 福西浩(東北大・理)
39. 西野正徳, 田中義人(名大・空電研) ロケット観測におけるオーロラヒスの  
wave normal angleの測定法

VI. STEP期間の極域超高層観測計画 座長 木村磐根(京大・工)

話題提供 (16:30 ~ 17:30)

- C1. 江尻全機(極地研) . . . . . 極域観測計画概要  
C2. 大家 寛(東北大・理) . . . . . STEP計画について  
C3. 杉浦正久(京大・理) . . . . . データ処理システム及びデータ情報交換の  
国際及び国内のネットワークについて  
C4. 前沢 洸(名大・理) . . . . . 極域超高層の物理

総合討論 (17:30 ~ 18:00)

— 懇 親 会 —

18:00~

会場 : 2 階講義室

《1月28日 (水曜日) 10:00～18:15》

VII. ULF波動現象

座長 桜井 亨 (東海大・工)

(10:00～12:00)

40. 佐藤夏雄, 平澤威男 (極地研)  
南部充宏 (九大・教養) 指紋型 Pc 1 脈動の特徴
41. 南部充宏 (九大・教養)  
佐藤夏雄, 平澤威男 (極地研) 指紋型 Pc 1 脈動の理論的解釈
42. 加藤愛雄 (東北大・理)  
利根川 豊 (東海大・工) 磁気嵐に伴う Pc 1 及び Pi 1 地磁気脈動について
43. 家森俊彦 (京大・理) 低高度衛星で観測される ULF波動と沿磁力線電流微細構造
44. 坂 翁介 (九大・理) 低緯度 Pc 3 脈動の電離層等価電流系
45. 利根川 豊 (東海大・工)  
福西 浩 (東北大・理)  
佐藤夏雄 (極地研)  
L.J.Lanzerotti (AT & T, Bell Labs.) カスプ帯とオーロラ帯同時共役点観測による長周期脈動の特性

VIII. 大気球観測

座長 福西 浩 (東北大・理)

(13:00～15:00)

46. 小玉正弘 (山梨医大)  
小倉紘一 (日大・生産) 気球高度におけるオーロラ X線像の撮像ボケ
47. 鈴木裕武, 平島 洋, 村上浩之  
(立教大・理) 南極域におけるオーロラ X線空間分布の観測  
山岸久雄, 佐藤夏雄 (極地研) (第26次南極観測隊大気球実験)

小島年春 (電通大), 山上隆正 (宇宙研)

小玉正弘 (山梨医大)

福西浩 (東北大・理)

48. 小玉正弘 (山梨医大) オーロラ X 線の空間分布と Pulsative  
平島洋, 村上浩之, 奥平清昭, 鈴木裕武 fluctuation  
(立教大・理)

山上隆正, 太田茂雄, 並木道義, 西村純  
(宇宙研)

宮岡 宏, 佐藤夏雄, 藤井良一 (極地研)

49. 小島年春, 芳野起夫 (電通大) AZC0 85 実験で観測された X 線脈動と関  
山岸久雄, 佐藤夏雄, 宮岡宏 (極地研) 連地上現象  
S.Ullaland (ベルゲン大)

50. 佐藤夏雄, 宮岡宏, 藤井良一 (極地研) 大気球, 地上共役点・多点で同時に観測  
太田茂雄 (宇宙研), 巻田和男 (拓殖大) された VLF 放射  
S.Ullaland (ベルゲン大)  
A.Egeland (オスロ大)

51. 山中大学 (山口大), 山崎孝治 (気象研) ポーラーパトロール気球 (PPB) と中層大  
神沢 博 (極地研) 気力学

## IX. 磁気圏・電離圏擾乱

座長 相京和弘 (電波研)  
荒木 徹 (京大・理)  
( 15:15 ~ 18:15 )

52. 藤田 茂 (地磁気観測所) SSC 時の磁気流体波の磁気圏内伝播について
53. 平澤威男 (極地研) 1982 年 6 月 12 日の SC 現象について
54. 荒木 喬 (弘前大・教育) アイスランド 3 点で観測された VLF オメガ電波と地磁気サブストームとの関係  
佐藤夏雄, 藤井良一 (極地研)  
菊池 崇 (電波研)

55. 荒木徹, 杉浦正久, 亀井豊永 (京大・理) 極冠内 AE 指数算出のための南極地磁気  
平澤威男 (極地研) 観測  
S.B.Mende (Lockheed Missiles and Space  
Company Space Sciences Laboratory)
56. 前田佐和子 (コロラド大) 粒子降下活動指数で記述される電離層擾  
T. Fuller-Rowell 乱に対する熱圏の反応の数値シミュレー  
(ロンドン大, コロラド大) ション  
D.S. Evans (アメリカ商務省海洋大気庁)
57. 南 繁行 (大阪市立大・工) 極域におけるHFドップラ観測(2)  
J.Peterson, R.D.Hunsacker (アラスカ大)
58. 山岸久雄, 佐藤夏雄 (極地研) 昭和基地マルチビームリオメータによ  
菊池 崇 (電波研) 電離層吸収観測初期結果  
池田修一, 芳野赳夫 (電通大)  
福西 浩 (東北大・理)
59. 野崎憲朗, 菊池 崇 (電波研) FM/CW イオノゾンデによる極域電離層の  
観測 — 速報 —
60. 五十嵐喜良, 小川忠彦, 前野英生, 航行衛星による昭和基地の測位精度と地  
倉谷康和 (電波研) 磁気擾乱の関係
61. 高橋富士信, 皆越尚紀 (電波研) VLBI観測量に及ぼす極域電離層の影響

# 第10回 極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム

## 講 演 予 稿 集

昭和62年1月26日～1月28日

会 場 : 国立極地研究所講堂

主 催 : 国立極地研究所

## ポーラー・キャップオーロラの特徴(1)

巻田 和男(拓殖大学)

DMS P aurora image data をもとに、ポーラー・キャップ域 ( $>80^\circ$ ) に見られる、オーロラ現象を調べてみると、基本的には次の2つのタイプに分類することが出来るように思われる。

(1) Oval 帯と密接な関係を持ち plasma sheet の粒子が関与している場合

例) poleward expansion に伴ない、高緯度へ移動していくオーロラで、サブストームの Recovery phase に見られる。

・ Transpolar  $\theta$  aurora と言われ、IMF が強い北向きの時に出現する。

これら(1)の現象は、オーロラの強度や入射粒子の特徴から見ても、オバール帯のオーロラと大差なく、要はこれらのオーロラが観測される時には、オバール帯の活動とまだある程度大きいことから、plasma sheet からの流入粒子により引き起こされていると推定される。

(2) Oval 帯とは独立して出現し、magnetosheath の粒子が関与している場合

例) Polar rain といわれる数百 eV 以下の低エネルギー電子が Cap 全域に、一様に降下しており、その入射量はセクター構造によりコントロールされている。

・ Sun-aligned arc と言われる、弱いオーロラは地磁気活動の低い、北向き IMF 時に出現する。この時、Oval 帯のオーロラは大変弱い。

これら(2)の現象は、入射粒子のエネルギーが plasma sheet のエネルギーに比べて弱いことや、Solar wind の諸パラメーターと直接関係していることから、magnetosheath からの流入粒子により引き起こされていると推定される。

現実には、オーロラ帯からポーラー・キャップ域にかけて、一連の出来事として(1)と(2)の現象が見られることも多く、複雑である。

ここでは、典型的なポーラー・キャップオーロラとして知られている、Sun-aligned aurora に注目して、解析を始めた。

解析期間は1983年1月から12月までで、この期間に得られた、DMS P aurora image data の中から、Sun-aligned arc が観測された例を選び出し、その時の太陽風や地磁気活動との関連を調べた。

Preliminary な結果について示しておく。

1) Sun-aligned arc は northward IMF 時によく出現することは、従来より指摘されているが、その発生頻度を見ると、northward  $B_z$  の大きさと共に solar wind velocity とも依存しているようである。すなわち、同じ程度の北向きで、solar wind velocity の大きさが上昇すると、Sun-aligned arc の発生頻度も高くなるようである。

2) Sun-aligned arc が夕方あるいは朝方のどちらにより多く見られるかは、IMF  $B_y$  の符号に依存しているようで、 $B_y$  が正の時は、午後から夕方側に多く出現し、 $B_y$  が負の時は、朝方から午前中に多く出現するようである。

上の結果は、まだ Case study 的のものであり、今後は、このような事実などの程度一般的なものとなる、統計的に調べていく必要があり、現在その解析を進めている。

# 夕方側ステープルオーロラの構造

— 6300 Å アークの形態 —

小野 高幸 平澤 威男  
(極地研)

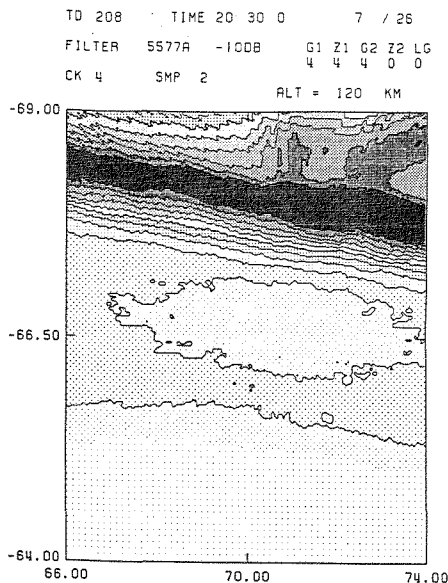
夕方側ステープルオーロラは、極側に電子降下によるステープルディスクリットアークが、また低緯度側にはプロトン降下によるディフューズオーロラが位置する構造を持つ。両オーロラ粒子降下の中間領域に於いて特徴的なオーロラ形態としては、夕方側パルセーティングオーロラの存在をしばしば見る事ができる。今回ステープルオーロラの多色同時観測データを解析した結果、この中間領域に6300 Åの卓越するアーク状オーロラが多く出現する事が判明したのでその形態について報告したい。

1984年7月26日20時30分におけるステープルオーロラの5577 Å及び6300 Åによる画像を第1図及び第2図に示す。5577 Åによるオーロラ像は、高緯度側にディスクリットアーク、低緯度側にディフューズオーロラを示し、典型的なステープルオーロラの形態を呈している。一方6300 Åによるオーロラ像は高緯度側には、5577 Åディスクリットアークに対応する位置に

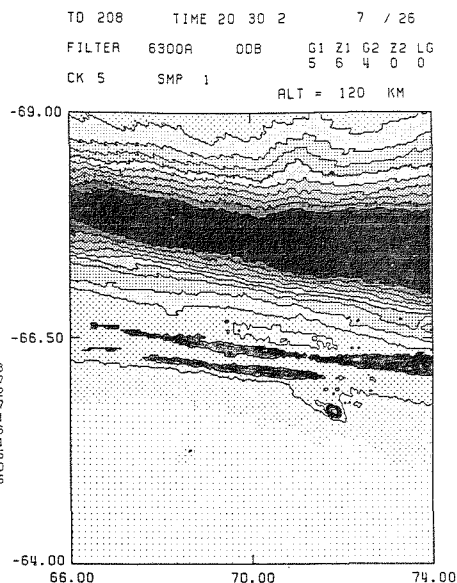
6300 Åディスクリットアークが出現するが、バンド状の5577 Åディフューズオーロラに対応するものは存在せず代わりに、極く細いアーク (強度約100 R) が5577 Åによるディスクリットアークとディフューズオーロラとの中間領域に出現している。5577 Åオーロラ像中にはこの6300 Åの細いアークに対応する構造は見出されない。上記の特徴を持つ6300 Åアークの形態は次の様にまとめられる。

1) DMSP衛星との同時観測によれば6300 Åアークは極く低エネルギーの電子の存在と対応している。第2図中の6300 Åアークに対応する電子のエネルギーは約50~150 eVであった。

2) 6300 Åアークの出現は、16h~22h MLTのセクターが最も頻度が高い。オーロラ活動との対応は地磁気がPositive Bay開始からオーロラブレイクアップを引き起こす直前までの間が最も多い。



第1図 5577 Åによるステープルオーロラ像



第2図 6300 Åによるステープルオーロラ像



## オーロラドリフトと磁気圏電場

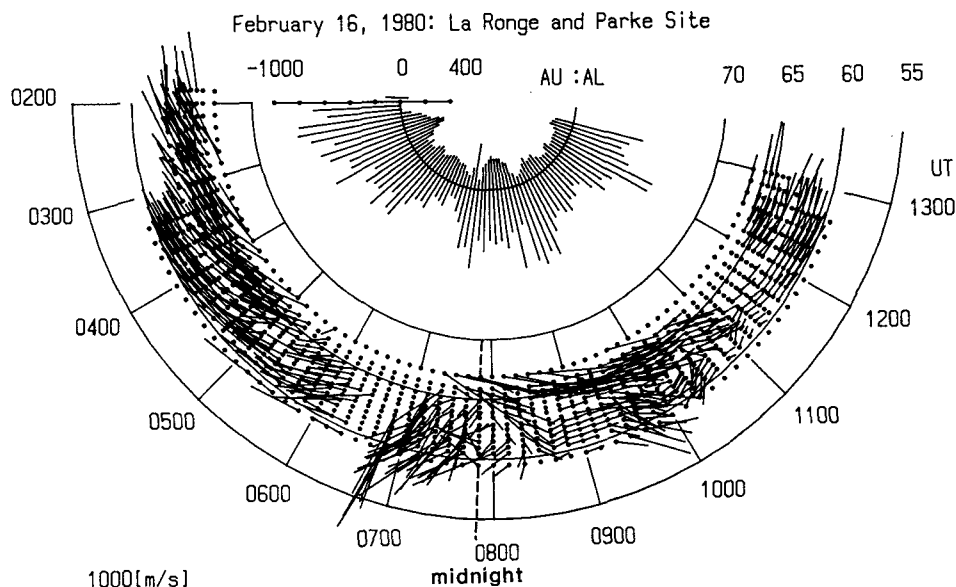
小口 高、中村るみ、山本達人  
(東大理)

オーロラのドリフトについての研究は古く 1962 年の Davis にさかのぼる。彼は IGY 期間の All-sky Camera の資料からオーロラ構造の移動を調べ、夕方では西向き、明け方では東向きの移動が卓越することを明らかにし、更に 1970 年の論文で、このような移動が磁気圏のコンベクション電場によるドリフトであると推定している。しかし、彼の用いたのは時間分解能の悪い all-sky Camera の data であって、その移動が本当にドリフトを示すものであるという保証はない。オーロラの構造は標準的な撮像時間、1 分間、でかなり変化するからである。

この論文では All-sky TV Camera の資料に基づいて Aurora Expansion 等の構造的移動と明らかに異なるドリフトを取り出し、その速度分布を磁気圏電場と比較し、オーロラ構造のドリフトが磁気圏電場を示すものである

事を、2 つの例によって示す。その一つはドリフトの全体的分布であり、他の一つは地磁気脈動に伴うオーロラパッチのドリフトの脈動である。この結果により、オーロラ活動に伴う粒子の Injection が磁気圏電場をどのように modify するか、その空間分布がどのようなものであるか等について極めて重要な知見が得られる。

図に示すのはオーロラ構造のドリフトが全体としてよく磁気圏電場を示している一つの例で、1980 年 2 月 16 日に La Ronge 及び Saskatoon (Parksite) で観測されたものである。オーロラ構造のドリフトの測定は、晴天の夜間に関する限り、簡単で精度の高い電場測定であると言える。二次元の情報が見られる事、レーダー測定にかからない程弱い電場でも測定できるなど電場測定には極めて有用な方法である。



# オーロラ発光とオーロラ粒子

江尻全機、小野高幸、平澤威男、小口 高

〔極地研〕

〔東大・理〕

第25次南極観測隊で実施した観測ロケット実験 AURORA I (19840404192701 UT)、AURORA II (19840503221410 UT)、AURORA III (19840528231713 UT) は、夫々対応したオーロラの形態 (II ; pre-break up stable arc, I ; break up active auroral arc, III ; post-break up diffuse aurora) によってオーロラ粒子 (電子) エネルギー分布が異なる事、又、オーロラ発光スペクトルの違いを明らかにする事が出来た。さらに、電子密度分布の比較において、オーロラ発光強度に大きな差があるにもかかわらず、AURORA I と III が E 層でほぼ同じ値を示し、D 層では高エネルギー成分の卓越している diffuse aurora に対応する III に enhancement が見られる。一方、電子温度については、粒子エネルギー分布、発光強度、電子密度等の大きな違いはあまり反映されず、I、II、及び III とも、ほぼ同じ高度分布を示す事が判明した。これらのデータの定量的な比較は未だ出来ていない。今回は、粒子エネルギー分布の E-t ダイアグラム (Fig. 1) により全飛翔期間の変化を見、ロケットを通る磁力線をトレースして高度 110km と仮定したオーロラテレビ画面の発光強度との比較を示す。

オーロラ発光強度は、フォトメータにより 427.8 nm の Apparent emission rate (PHO) が測定され、オーロラTVにより visible range (400~800 nm) の積分発光強度 (VAT) が測られているので、その比が全飛翔期間でどう変化をしたかを見てみた (Fig. 2)。この変化は、発光スペクトルの変化を示しており、それが、オーロラの形態によってどう異なるかを見る為に、PHO/VAT と PHO の関係を求めて示したのが Fig. 3 である。これらの解釈は講演で述べる。

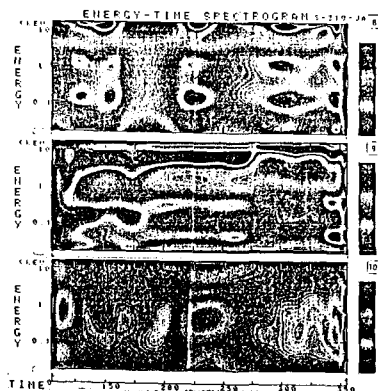


Fig. 1

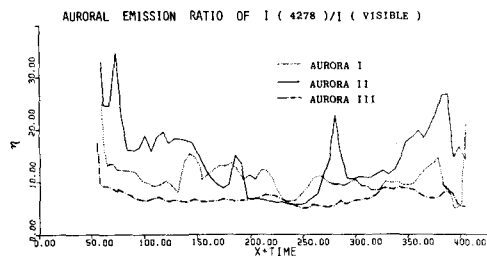


Fig. 2

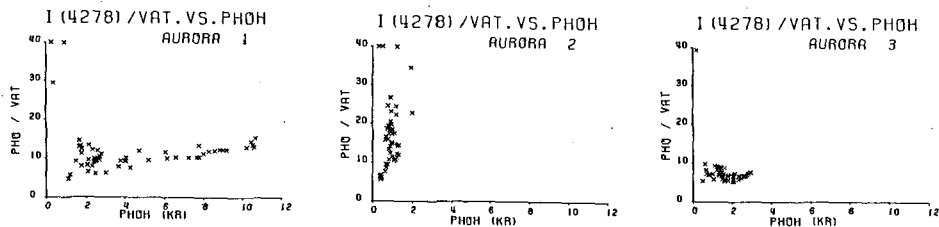


Fig. 3

## 極域電離層電流系のシミュレーション実験 II

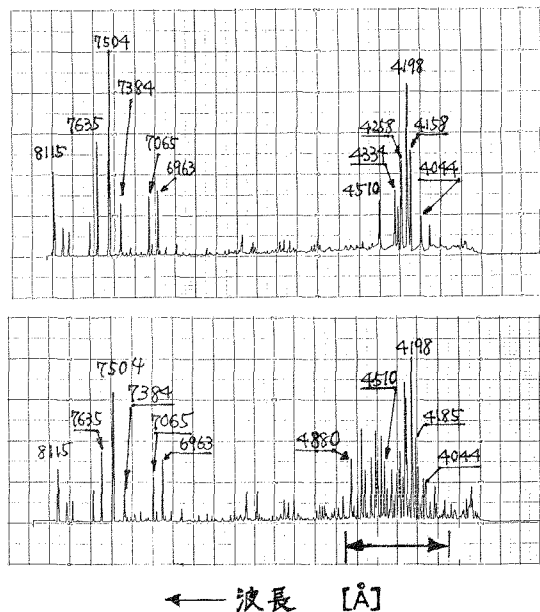
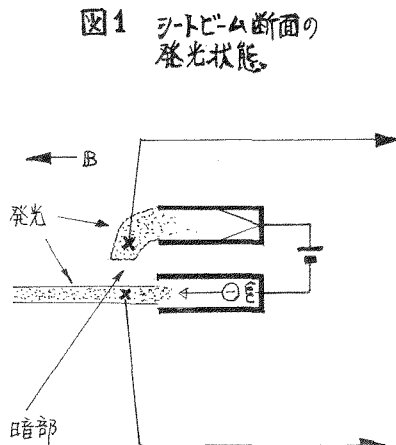
筒井 稔、 浅野弘明、 小川 徹 (京都大学 超高層電波研究センター)

磁力線に沿って入射してくる電子の加速機構に関係があると考えられている負荷としての極域電離層電流系を実験室で模擬し、様々な測定を続けているが、得られた結果に実際の観測で得られたものとの関連で興味深いものが得られたので報告する。

実験は前回と同様内径45cm長さ1mの真空容器内にArガスを導入し  $\Omega_0/\omega \cong 100$ ,  $\Omega_0/\omega \cong 1$  という電離層と同じパラメータで実験を行っている。容器軸方向に印加された平行磁場に沿ってシート状の電子流を形成させ (Region 2)、同じくシート状の電子上昇領域 (Region 1) を設定し、両者間にDP電場に対応する電圧を印加させた時の電流系や発光現象を調べた。前回の報告では入射した電子が大気と衝突し電離を繰り返しながら再び磁力線に沿って上昇して行く事を示し、視覚的には電子入射領域ではディスクリートなそして上昇領域ではディフューズな発光がみられる事を示したが、今回はこの光を調べることで2つの領域で発光に寄与する効果が異なることを明らかにした。

図1は両領域を横切る子午面で切った断面での発光状況を示したものである。電子は図中下側の右から左へ入射しており、磁力線に沿って鋭い発光が見られる。一方上側の電子上昇領域に難な発光はそのような鋭さは見られない。両発光の中央部からの光を分光器を用いて調べた結果を図2に示す。光のスペクトルは大きく分けて赤と青の2つの成分からなっているが、これはArガス発光の特徴である。同図上側がいわゆるディフューズドオーロラ、下側がディスクリートオーロラからの発光スペクトルである。両者を比較して明らかな事は、下側では上側で見られる以上の多くの成分が含まれている。調査の結果上側に見られるのは殆どが原子状態での発光であるのに対して、下側特に4510 ~ 4880 Åに見られるのはイオン状態での発光である。即ち下側の発光は上側よりも高いエネルギー注入により生じている事を示している。本実験では人為的に電子加速を行っていないにも拘らず入射電子は何等かの形でエネルギーを得ていることを示唆しており加速機構の解明に役立つものと思われる。又両発光領域の間に暗い領域が存在している事が確認される。これはRobinson et al. [JGR Vol.90,8487, 1985]が述べているdark bandを現しているかもしれない。これを詳しく調べればオーロラ帯の電場を同定出来る可能性が出てきた。

図2 発光スペクトル



# 夜間全天単色撮像観測

金田稔<sup>\*</sup> 田嶋浩義<sup>†</sup> 宮下曉彦<sup>†</sup>

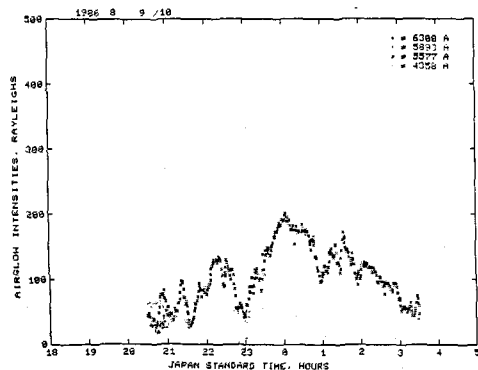
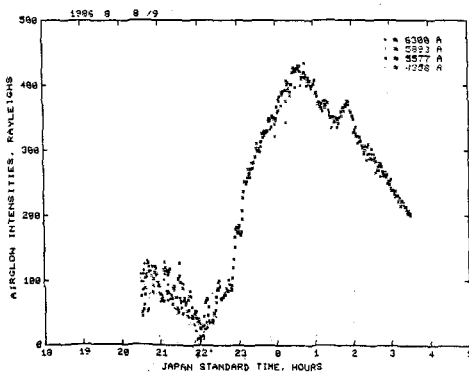
<sup>\*</sup> 東京大学理学部地球物理研究施設, <sup>†</sup> 東京大学東京天文台.

オーロラ物理の研究を進展させる上で、単色撮像の重要性は、事改めて述べる必要はない程に、緊要な課題であり、これ迄に、幾つかの試みが行われて来た。問題は、単色像抽出の対象となる天空上の範囲設定、検出輝度レベルの設定等に数えられる。著者(金田)は、対象領域を全天に設定し、夜間大気光レベル以上の輝度に対応可能な、単色撮像装置の開発に当たって来た。その結果、II+ SIT-TVカメラを、低輝度レベル側では2次元光子計数モードで、高輝度レベル側では、通常のビデオモードで駆動させる事によって、所期の目的達成が可能となった(オ80回日本地球気象学会講演会予稿集要528頁)。1986年夏より東京天文台木曾観測所に於いて、夜間大気光を対象とした、フィールド・テストを行った。

このフィールド・テストは、夜間大気光研究上からも興味ある観測の為、諸機関天頂絶対強度を、天文台測光部が担当する、総合的試験観測として、実施する事が出来た。単色撮像では、酸素系予禁制線[OI] 8446 Å及び同[OI] 8446 Å, OH帯(>6600 Å)が対象となった。

観測に使用したシステムは、試作材である故に、観測対象光の選択・切替はマニュアルで行った。この為、背景光の寄与を差し引く為の2色切替を行う事が出来なかった。この他にも、雲・霧等の気象現象の寄与を取り除く事が、データ取得時には行う事が出来なかった為、観測は晴天暗夜に限定された。

この様な制約は別として、観測は、天候よく行われ、有意なデータの取得が出来た。特に、夏期の観測に於いては、興味ある変動が、[OI] 8446 Å及び6300 Åの単色撮像で記録された。特に、下段に示した、8月8/9日、9/10日の[OI] 8446 Åは、天頂輝度の変化からも知られる如く、特徴的であった。就中、8/9日は、異常夜とも云える輝度上昇が認められる。これ等の天頂に於ける輝度変動は何れも、2次元約10パターンの移動を伴って居るのか、共通した特徴である。



[OI] 8446 Åの天頂輝度時間変化(観測点:木曾)  
左) 1986年8月8/9日, 右) 1986年8月9/10日.

## 高感度撮像装置によるオーロラ観測

金田榮祐\*, 国分 征\*, 林 幹治\*, 小口 高\*

\* 東京大学理学部地球物理研究施設

現在計画され、将来具体化される、大規模なプロジェクトの話ではなく、この様なプロジェクトをも含め、今後オーロラ観測を推進して行く際の研究の進展に対応する観測内容の向上に重点を当てる事にする。具体的には、撮像装置をピックアップとして使用した場合、どの程度の事が実現可能の域に近づくかを考えて見る事となる。

高感度撮像装置と云った場合に、数年前迄は、イメージ・インテンシファイアー(II)を前置した、SIT-TVカメラの組立上であったが、現在では、時間積分能を犠牲にして、時間積分を行う事により、検出限界輝度を大巾に下げる方向で、新しい装置が登場しつつある。それ等を枠能面から見ると、以下の2種類に大別される。

- 1). 信号を検出素子内部に蓄積する。  
謂はば電子写真とも云うべき方式
- 2). 信号を逐次、外部のフレイム・メモリーに転送し、そこで積算を行う。  
外部メモリー方式。

1) の方式で、現在実用化されて居るのは、CCDを冷却して、内部暗電流を抑へ、一定時間、信号を蓄積した後、一気に読み出しを行うタイプのCCDカメラである。一方、2) の方式では、光電面上での光子発生位置情報を、フレイム・メモリーのX-Yアドレスとして、入射した光子の積算をフレイム・メモリー上で行うものである。フレイム・メモリーへのアクセスは、1箇の光子の入射毎に、アドレス・ランダムに積算する方法と、ビデオレートで、シークエンシャルに積算する方法の2種類がある。これ等は、大々異なる検出素子を使用して居るが、2次元光子計数を行う為、IIを使用する点に、共通性がある。

上記の電子写真方式と外部メモリー方式とでは、大々、一長一短あるが、枠能上から最も異なるのは、前者では、通常の写真向版

に、積分結果は読み出しを行った後に知り得るのに対して、後者は、積分過程を常時モニターし得る点にある。

この様に、枠能的に撰択の中か抜かった撮像装置は、オーロラの観測に於いて、単にイメージングに、その使用を限定して考へる必然性はない。従来、写真フィルム、又は光電子増倍管のみか、ピックアップとして使用されて居た、(干渉)分光観測に於いて2次元情報検出器として撮像装置を使用する事によって、新たな知見を得る可能性は高いと考へられる。

亦、上記の高感度撮像装置は、オーロラ観測に於いて、単色撮像を行うのに充分な性能を有して居る。この点に関しては、フリンボジウムでの、夜間大気光の単色撮像(金田、田鶴、宮下)の報告に於いて明らかである。むしろ、今後は、オーロラ撮像に於いて問題となる、撮像装置のダイナミックレンジ、更には、画像データ処理等の面に於ける問題点の整理・検討を進めるべき処と、その実現可能性は差詰って来て居る。

## 沿磁力線電流系の電流発生源とエネルギー源

井上雄二、京都産業大学・理学部・計算機科学科

オーロラ・アークは降下してくる高速電子による上層大気の励起の結果であり、それと共に上向きに沿磁力線電流が観測される。電子の加速が地球に近い数千 Km の高度において起こることが示唆されている。電子の加速機構として、静電二重層によるものが最も有望視されているが、この過程は dissipative なもので、静電二重層を形成するエネルギー源がそれと連結している回路の何処かに在るべきである。即ち、沿磁力線電流系に電流発生源と静電二重層が共存していると考えらるべきである。従って、静電二重層は単に電圧降下を局所化させる役割をするのみである。局所化された電圧降下により、荷電粒子の静電加速が行われる。また、FAC (Field-Aligned Current) がある限界値を超えると静電二重層が形成されるとも考えられている。従って、FAC 系を形成するために、電流発生源がオーロラに重要である。この電流発生源は如何なる機構によるのかについて新しい見解を提案する。

静かなアークはある有限な厚さを持った磁気殻に沿って方位方向に一樣であると仮定する。磁気殻の厚さは磁気圏赤道近傍で 500 Km 程度とする。電離層近傍での磁束  $B \approx 0.5 \Gamma$ 、赤道近傍で  $B \approx 0.001 \Gamma$  とする。この有限幅の磁気殻の内部に、近尾部から侵入してきた陽子・電子が EXB ドリフトにより、一樣に方位方向に流れている、そしてその外部は低温プラズマのみによって形成されていると仮定する。流れの右側面近傍は高電位に、左側面近傍は低電位に荷電される。電位差は 6 KV と仮定すると、磁気殻内部の電場の大きさは赤道近傍で、 $E \approx 12 \text{ mV/m}$  程度になり、EXB ドリフトは  $CE/B \approx 120 \text{ Km/sec.}$  になる。侵入してきた陽子群は赤道面近傍に集中しており、そこに高温の高圧部を形成する。

その圧力勾配によって、陽子が磁力線に沿って赤道面近傍から南北両半球のオーロラ帯の電離層に向かって走る。磁力線方向の陽子群の運動は次のように表現される：

$$N_+ m_+ V_+ \frac{\partial V_+}{\partial z} = - \frac{\partial p}{\partial z}$$

ここで、 $z$  は磁力線方向の距離、 $p$  は陽子プラズマの圧力、 $\frac{1}{2} m_+ V_+^2$  は侵入してきた陽子の平均エネルギー  $\langle W_+ \rangle$  程度になる。若し  $\langle W_+ \rangle \approx 10 \text{ KeV}$  と仮定すると、 $V_+ \approx 1.38 \times 10^8 \text{ cm/s}$  となる。この過程で陽子の  $p_{\perp}$  が  $p_{\parallel}$  に変換される。赤道面に沿って侵入してきた陽子群は EXB ドリフトにより方位方向に移動しつつ、南北両半球の高緯度に向って吹き出して行く。

EXB ドリフト速度は赤道面で最大で、赤道面から離れると磁束の増加と共に減少する。従って、沿磁力線運動をしている陽子の EXB ドリフトが急激に減速されるために、陽子は磁気殻面に直交する方向にドリフトを誘起する。即ち、低電位面から高電位面に向って、陽子がドリフトする。その速度  $u$  は、

$$u = \Omega_+^{-1} n \times (V_+ n \cdot \nabla) (CE \times n)$$

ここで、 $n$  は磁場の単位ベクトル、 $\Omega_+$  は陽子の Larmor 角周波数である。このドリフト  $u$  によって、赤道面から少し離れた低緯度帯において、電流は磁気殻内部において、低電位から高電位に向って流れる。即ち、電場によって電流が流れるから電流発生源が存在すると言ひできる。この際、電流密度  $j = e n u$  であり、電流が流れる主要領域の磁力線方向の厚さ  $l$  とすると電流源の全電流量は  $J \approx j l$  となり、 $u \approx \Omega_+^{-1} (V_+ / l) (CE/B)$  であるから、全電流量  $J \approx e \Omega_+^{-1} V_+ (CE/B) N_+$  になり、これは  $l$  には殆ど左右されない。この機構に関して、電子の寄与は協力的であるが、陽子のそれに比較して 50 分の 1 程度以下である。

陽子プラズマ圧力  $\beta \approx 0.1$  とし、 $\beta B^2 / 4\pi \approx N_+ \langle W_+ \rangle$  とし、 $\langle W_+ \rangle \approx 10 \text{ KeV}$  と仮定すると、赤道近傍で  $N_+ \approx 0.5 \text{ cm}^{-3}$  となる。これらの数値を用いて、全電流量は  $J \approx 1.38 \times 10^{-3} \text{ A/m}$  となる。これがアークの内部の上向きの FAC になるべきである。電流密度にして、 $j \approx 16.6 \text{ } \mu\text{A/m}^2$  となり、これは観測値  $1 \sim 20 \text{ } \mu\text{A/m}^2$  の範囲内にある。

## ISIS 衛星で観測されたコーラスの経度変化

松尾敏郎・木村豊根 (京大・工)

1975年にヘリウェルらによって電力線放射 (PLR) 現象が報告されている<sup>(1)</sup>、PLRによるトリガードエミッションやコーラスとの関連が研究されてきている。トリガード後者についてはLeutteらはOGO-3衛星のコーラス (0.3-12.5 kHz) の経度依存性を調査し工業地帯でのコーラスの観測率はそれ以外の地域よりも高い事を示し磁気圏で観測されるコーラスは電力線高周波と深くかかわり合いがある事を示唆した<sup>(2)</sup>。1979年にはParkとMillerはカナダのケバックでの電力消費量とサイプルでのVLFコーラスの強度及びPLRの観測率には電力消費量の少ないSundayにはコーラスの強度及びPLRの観測率はともに他の曜日よりも低くなる事をみだし、たとえまれにしかPLRがフェーススプレッドグラム上に見いだせなくてもサイプルでのコーラスの多くは磁気圏内の粒子とPLRとの相互作用による事を示唆した<sup>(3)</sup>。

これに対してThorneとTsurutaniはLeutteらと同様の事をOGO-5で調査した結果、PLRが関連するようなコーラス (ふく1.5 kHz) の経度変化はみいだせなかった<sup>(4)</sup>。OGO-3, 5はともに同じような楕円軌道で、且つ両者が解析に使用したデータは一年分であるのにもかかわらず両者には何ら対応がみられなかった。これは両者のデータセットが比較的小さい上に要った観測器で要った周波数のコーラスを解析したため

と考えられている<sup>(5)</sup>。今回は同様な調査を昭和基地 (-69°, 39.6E) で受信したISISのデータを使って解析したので報告する。

1976年から1984年までの1168軌道分のデータを使用した。OGO-3, 5のデータはWorld wideなデータセットであるのに対して、ISISのそれは昭和基地周辺に集中しているが data sets 自体はあまり大きい。

図1はISIS-IIのL≤12での全てのパスを地理的な経度・緯度で示したものである。図中の●印は昭和基地の位置を示し、昭和基地の西側の部分の磁気艾役長は北大西洋で、東側のそれは英属、北欧、東欧で人口集中地域である。昭和基地より少し西の磁力線を境にして艾役長での電力消費量は全く異なるといえる。多くの差がある。

図2はコーラスが観測されたパスを全てプロットしたもので昭和基地の西側でもコーラスが観測されており、必ずしもLeutteらが主張するような結果は得られなかった。本論文では Sunday 初果も含めてより詳しく報告する。

### 参考文献

- (1) Hellwells et al: JGR, vol 80, p 4248, 1975
- (2) Leutte et al: GRL, vol 4, p 275, 1977
- (3) Park and Miller: JGR, vol 84, p 14, 1979
- (4) Thorne and Tsurutani: JGR, vol 84, p 4116, 1979
- (5) Park and Hellwells: Science, vol 207, p 715, 1980

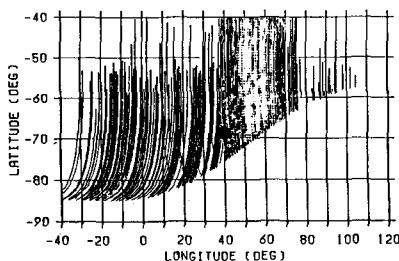


図 1

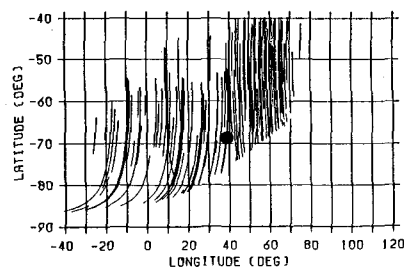


図 2

## 極域へ到達する ELF ヒスの非ダクト伝播路

山岸久雄（国立極地研究所）

### 序

極域地上や極軌道衛星により観測される ELF ヒスには、一部 Periodic emission に代表されるように磁気圏内のダクトに沿って伝播すると考えられるケースもあるが、一方発生域（磁気赤道面）から極域へ非ダクト的伝播をしているケースも多いと考えられる。これら非ダクト伝播する ELF 帯のホイスラーモード波の ray tracing を行うと、大部分のものは高度 10000km 前後で LHR 反射され、極く一部のもののみが極域電離層に到達することがわかる。本講演では、これら極域に到達する ray path の特性を二次元の ray tracing に基き明らかにする。極軌道衛星（ISIS-1,2）及び昭和基地地上での ELF ヒスの観測事実の中に上記の特性を支持するものが見つかり、併せて紹介する。

### 計算法

磁気圏の磁場は双極子モデル、電子密度分布はプラズマ圏を考慮した相京-恩藤モデルを使用する。使用したプログラムは木村・橋本による二次元 ray trace プログラムである。磁気赤道面上  $L=4.5, 5.0, 6.0, 7.0$  の点より 0.7kHz 及び 1.5kHz のホイスラーモード波を初期の wave normal angle を伝播可能な全角度範囲にわたって  $0.25^\circ \sim 5^\circ$  刻みで与え出発させる。これらの ray path 及び wave normal の分布が高度とともにどのように変化するかを調べる。

### 計算結果

- (1) wave normal は外向き（地球から遠くへ向かう方向）となる一般的傾向がある。しかし初期の wave normal が十分に内向き（地球中心方向）ならば、これらはそのまま、内へ内へと向いていく。（これらの特性は磁力線の曲率、屈折率の角度特性の高度変化による効果である。）外向き、内向き傾向の境界となる角（ $\phi_{ic}$ ）が存在し、 $L=6.0$  では  $\phi_{ic}$  は磁力線より約  $50^\circ$  内向きの角度となる。出発点の  $L$  値が小さくなるにつれ  $\phi_{ic}$  は磁力線方向に接近する。
- (2) 大部分の wave normal は下方に伝播するにつれ resonance angle に漸近する。resonance angle 自身は低高度ではほとんど磁力線に垂直であるので、これらの wave normal も磁力線に垂直となる。これらの波は、 $f=f_{LHR}$  となる高度で LHR 反射される。
- (3) 初期の wave normal が  $\phi_{ic}$  近傍のものは resonance angle にゆるやかに漸近するため、LHR 反射を起こさず高度 3000km 付近まで到達する。高度 3000km 以下では、電子密度の勾配の効果が大きくなり、wave normal は電子密度勾配の方向（鉛直方向～磁力線方向）に漸近しつつ、電離層に至る。
- (4) (3) で述べたように磁力線の曲率等による効果（wave normal を外へ向ける）と電子密度勾配の効果（wave normal を内へ向ける）がバランスする高度（ $h_B \sim 3000\text{km}$ ）が存在する。極域へ到達する ray path の条件は高度  $h_B$  において wave normal と磁力線のなす角が  $90^\circ$  未満となることである。この条件は赤道面において  $\phi_{ic}$  を中心とする  $2^\circ$  前後の角度範囲に対応する。
- (5) この角度範囲は磁気赤道から  $h_B$  までの間の ray path に沿っての電子密度勾配が高い程度がある傾向がある。即ち、夏半球の方が冬半球よりも広い角度範囲となる。
- (6)  $h_B$  以下の高度での wave normal の分布は外向きに偏在する。これは、 $h_B$  以上の領域で wave normal が外向きとなる一般的傾向が反映されたものである。

### ELF ヒス観測との対応

1.  $h_B$  以下の高度を飛翔する ISIS 衛星で観測される ELF ヒスの受信強度は多くの場合、衛星のスピンに同期した変動を示し、wave normal が偏在していることを示している。また、スピン変調特性から推定される wave normal の方向は衛星高度が低い程磁力線方向に近い。これらの特性はそれぞれ (6)、(3) の結果を支持するものである。
2. ISIS 衛星で観測される ELF ヒスは多くの場合顕著な two-ion cutoff を示す。この cutoff が生じるためには wave normal が磁力線から  $40^\circ$  以上離れた方向に偏在することが必要であり (3)、(6) の結果を支持するものである。
3. ISIS 衛星高度及び地上での ELF ヒス強度は夏季に強く冬季に弱いという季節変化を示す。これは (5) の結果を支持するものである。



# VLF放射 ( $f \gtrsim f_H/2$ ) の off-equator での 方位測定と伝搬路の逆追跡

DIRECTION FINDING IN THE OFF-EQUATORIAL REGION OF THE MAGNETOSPHERE  
AND INVERSE RAY TRACING OF HALF-GYROFREQUENCY VLF EMISSIONS

早川正士\*

武藤広泰\*

岡田敏美\*

島倉 信\*\*

\*名古屋大学空電研究所

\*\*千葉大学工学部

Research Institute of Atmospherics, Nagoya University Chiba University

## 1. まえがき

磁気圏赤道面での Half-gyrofrequency VLF emissions の direction finding (方位測定) が静止衛星 GEOS2 のデータに基づいて行われた。<sup>(1)</sup> その結果、その波は oblique resonance angle (斜共鳴角) に非常に近い wave normal angle で発生している Quasi-electrostatic whistler mode 波 (準静電波) であることが分かった。これらの実験事実に基づき、我々は、コールド・プラズマと、十分な温度異方性 (またはロスコーン分布) を持つホット・プラズマとからなる 2 成分プラズマでの静電不安定性による発生機構を提案した。<sup>(2)</sup>

磁気圏の off-equatorial region におけるこれらの波の wave normal 方向や WDF (wave distribution function) の情報は、上述した様に、波の発生領域が磁気赤道面であることを確認することが出来るとともに、その後の波の磁気圏内での伝搬を調べることが出来、波の発生、伝搬機構の全体像を解明するのに極めて重要である。

## 2. GEOS1 data

本研究では 1977 年 9 月 19 日と 10 月 12 日の 2 日について衛星 GEOS1 で観測された波動磁場および電場のデータに基づいて、off-equator における VLF emissions の wave normal 方向と WDF の決定を行った。

図 1 に、解析に用いた波のスペクトルを示す。ある特定の周波数を境として、上のバンドと下のバンドからなっている事が理解されよう。このギャップ周波数は発生領域でのジャイロ周波数の  $1/2$  であろう。

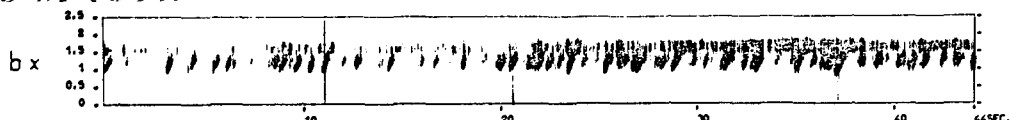


図 1 A spectrogram of the September 19, 1977, event. The satellite attitude parameters are 1148:13 UT,  $L = 10.00$ ,  $MLT = 34.04^\circ$ . The local electron gyrofrequency and gap frequency are 3.490 kHz and 1.32 kHz, respectively.

## 3. Direction Finding (方位測定)

DF は最大エントロピー法による WDF analysis を用いて行った。その結果、磁気緯度が低い場合、 $\theta$  ( $B_0$  と  $k$  とのなす角) は  $\theta_{res}$  に近いところに分布している。一方、磁気緯度が高い場合には  $\theta$  は  $\theta_{res}$  よりも約  $15^\circ$  から  $20^\circ$  内側に分布していることが分かり、衛星が赤道面から離れている場合には伝搬の効果が効いてきており、磁力線に沿って伝搬するという近似が使えないことが分かる。

また今までは、磁界 3 成分のみを用いて WDF analysis を行ってきたが、本研究では、次に述べる ray tracing との関連から、波動電界の情報をも用いて、方向に関する ambiguity を取り除いた。

## 4. Inverse Ray Tracing (伝搬路の逆追跡)

これまでの結果より、off-equator で観測される Half-gyrofrequency VLF emissions は、磁気赤道面で発生したものが、伝搬してきたものであると考えられるため、off-equator での DF data を初期データとして、3 次元の backward の ray tracing を赤道面まで行い、赤道面での波面法線方向の情報を得て、従来の我々の実験結果とも比較する。

【文献】(1) Hayakawa et al., J. Geophys. Res. 89, P.2811, 1984.

(2) Ohmi and Hayakawa, J. Plasma Phys., in press, 1986.

## 8 KHZ以上のオーロラヒスの特性

恩藤忠典 電波研究所

オーロラヒスの下端は局所的な電離層パラメータに依存するLHR 周波数によって決まると言われている。従ってオーロラヒスは一般には2 KHZ 以上に見れる広帯域なヒスと思われている。しかし2-6 KHZ 間のオーロラヒスが最もよく発生する。ここではRadio and Space Data No.9,13,15のVLF データを用いて8 KHZ 以上に見れるオーロラヒスの発生特性を調べた。

南極昭和基地で1976年6月-1983年1月の間に受信されたISIS-1,-2 のVLF データのスペクトル解析を行い、8 KHZ 以上に見れるオーロラヒスの発生特性を地磁気不変緯度、地磁気地方時、5 KHZ 以下のオーロラヒスとの関連性、地磁気活動との関係等に関する統計的な解析結果について報告する。

# Competing Process of Whistler and Electrostatic Instabilities in the Magnetosphere

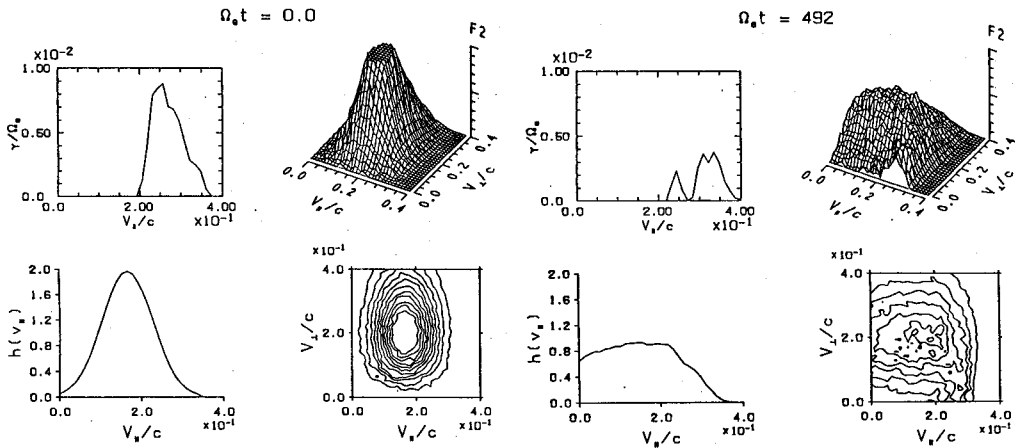
Yoshiharu Omura<sup>1</sup> and Hiroshi Matsumoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Kyoto University, Kyoto 606, Japan

<sup>2</sup>Radio Atmospheric Science Center, Kyoto University, Uji, Kyoto 611, Japan

Competing process of whistler mode and electrostatic mode instabilities induced by an electron beam is studied by a linear growth rate analysis and an electromagnetic particle simulation. In addition to a background cold plasma, we assume an electron beam drifting along a static magnetic field. We study excitation of whistler mode and electrostatic waves in the direction of the static magnetic field. We first calculated linear growth rates of the whistler mode and electrostatic mode instabilities for various possible parameters in the equatorial magnetosphere. We found that the growth rate of the electrostatic instabilities is always larger than that of the whistler mode instabilities. A small simulation run with a monoenergetic electron beam demonstrates that a monoenergetic beam can hardly give energy to whistler mode waves as a result of competition with faster growing electrostatic instabilities, because the beam electrons are trapped and diffused by the electrostatic waves, and hence the growth rates of whistler mode waves become very small.

A long simulation run starting with a warm electron beam demonstrates that whistler mode waves are excited in spite of the small growth rates and the co-existing quasi-linear electrostatic diffusion process. The diffusion of the warm electron beam is explained by three different processes with different time scales. An electromagnetic diffusion follows the electrostatic diffusion, causing pitch angle scattering of the beam electrons to lower angles. As the third stage the diffused electrons at high parallel velocities are further diffused down to a lower parallel velocity range because of the enhanced electrostatic fluctuations. The present simulation demonstrates that that a large number of grid points as well as enormous number of time steps are required to simulate two co-existing instabilities with different time scales. Fewer grid numbers and fewer time steps lead to misunderstanding of the involved physics.



# 極域低高度(～600km)にて観測されるLF/MF帯

## ホイッスラ・モード放射の特性と伝搬

相京 和弘、恩藤 忠典、大高 一弘

郵政省電波研究所

南極域のISIS-1サウンダ・データには種々の電波放射が見い出される。これまでの講演ではその中のZモード放射の特性について報告したが今回はMF/LF帯のホイッスラモード放射について紹介する。極域においては昼夜に無関係にこの種の放射がしばしば観測されるが今回特に取り扱ったデータはISIS-1の近地点(～590km)で観測されたもので図1に夜間のサウンダAGCの例を示す。このパスの近地点は0028UT付近にあり観測点の時刻は03-20MLTで地磁気緯度は $68^{\circ}-82^{\circ}$ である。この時衛星はカートホイール運用にあり固定周波数( $f=0.48\text{MHz}$ )における受信強度はスピン変調を受けていることが分かる。この放射はAlouette-IIの観測(Hartz, 1971)ではスピンの影響は殆どないとされていたもので、その違いは観測高度の差に因るものとも考えられる。強度の強い時の上限周波数はホイッスラモード内で $f_N$ (プラズマ周波数)、 $f_H$ (ジャイロ周波数)と無関係にほぼ600-700kHzにある。このように低高度でスピン効果が顕著なのは波源が比較的離れており伝搬効果の現われと解釈できる。図1には受信強度と共に受信アンテナのスピン位相角が示されておりこれから強度極小の時のアンテナの磁場に対する位相角 $\delta$ はほぼ $0^{\circ}$ (又は $180^{\circ}$ )付近にあることが分かる。これは電界面がほぼ磁力線に直角方向にあることを意味する。いま0028UT頃に受信されたイオノグラム(写真)をスケールして得た受信点の $f_N=2.5\text{MHz}$ ,  $f_H=1.2\text{MHz}$ を用い、 $0.48\text{MHz}$ 波の受信点における伝搬ベクトル $K$ をグラフによる解法で求めると、電界面法線ベクトルと磁場のなす角はほぼ $3-8^{\circ}$ であり、伝搬ベクトル角 $\theta$ は磁場に対し $8-14^{\circ}$ となる。 $\theta$ には $180^{\circ}$ のあいまいさがあるが上方から到来したと仮定し、この初期値で適当な電離圏モデルのもとに逆レイト

レーシングを行なった結果(図2)によると最初はほぼ磁力線に沿って上方に伝搬し、 $f_N$ が低下して $f=f_N$ の条件に近づくとも通路は水平方向に曲げられて $f < f_N$ の条件を満たしつつほぼ等電子密度線に沿って伝搬する。これは $f \rightarrow f_N$ の時、共鳴角 $\theta_{res}$ が小さくなり、許される $\theta$ が $0$ に近づくとともにrayの方向が磁場に直角に近づくためである。つまり $\theta$ が $0^{\circ}$ に近い値でも広範囲の緯度方向への伝搬が可能であることを意味する。この事と観測される上限周波数と観測点での $f_H$ との比などから、発生機構としてはロス・コーン分布をもつオーロラ電子によるホイッスラ・モード不安定性(Wu et al., 1983)が最も有力である。なお、このイベントの時の昭和基地における地上VLFデータにはVLFヒスが観測されており、解析した他の2イベントも同様であった。

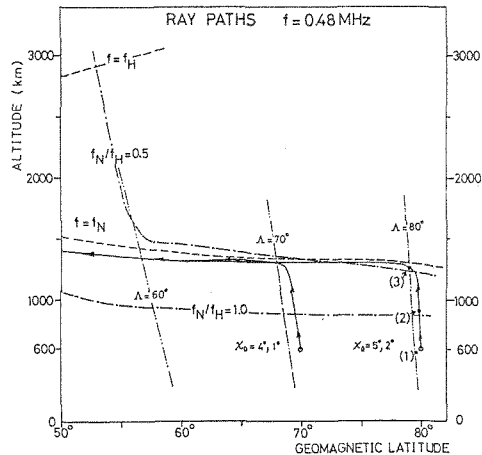


図2. 極域電離圏モデル中のホイッスラ・モード波(480kHz)の電波通路の計算例。(X<sub>0</sub>は初期伝搬ベクトルの天頂角)

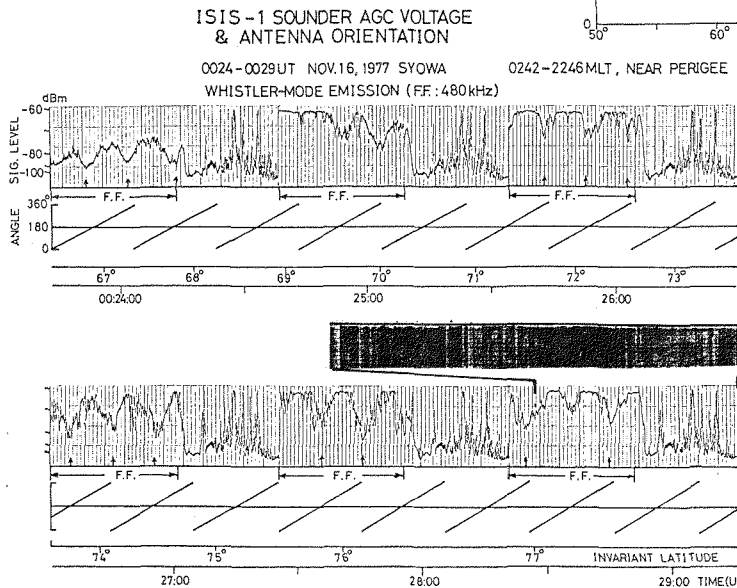


図1. ISIS-1のサウンダAGC電圧に見られる低高度(近地点付近)ホイッスラ・モード放射の例と地磁気/アンテナ角の変化。F.F.部分は480kHz波の振幅変化。

On Z-mode waves observed by the DE-1 satellite

K. Hashimoto\*, W. Calvert\*\*, and R. L. Huff\*\*

\*Tokyo Denki Univ., \*\*Univ. of Iowa

The Plasma Wave Instrument (PWI) on Dynamics Explorer-1 can measure not only wave spectra, but also polarization and propagation direction (Shawhan et al., 1981). These measurements are obtained from the correlation between two of three sensor signals, chosen from a rotating long-wire antenna (Ex), a short antenna in the spin axis (Ez), and a loop antenna (Bx). Such observations, including simultaneous spectrogram and polarization results, have mainly been surveyed for Z-mode emissions.

Z-mode emissions are commonly observed in the frequency range from just above the plasma frequency cut-off of whistler-mode hiss ( $f_p$ ) to the cyclotron frequency ( $f_H$ ), within the region where  $f_p < f_H$ . Also observed are the Z-mode emission seemingly associated with the auroral kilometric radiation (AKR), just below  $f_H$  and near auroral field lines (source region of AKR). The Z-mode emissions are sometimes observed near frequencies at less than 10 kHz far from the source region. This fact is consistent with the recent three-dimensional ray tracing results that wide-band Z-mode emissions cannot be explained if the emissions are generated near  $f_H$  by the cyclotron maser mechanism (Menietti and Lin, 1986).

Wave arrival directions of AKR with free-space propagation has been successfully measured using Ex and Ez sensors (e.g. Calvert, 1985). Problems in applying this method to the Z-mode direction finding will be discussed as well as Z-mode ray path calculations.

References:

- W. Calvert, Geophys. Res. Lett., 12, 381, 1985.
- J. D. Menietti and C. S. Lin, submitted to J. Geophys. Res., 1986.
- S. D. Shawhan et al., Space Sci. Instr., 5, 535, 1981.

## 地磁気静穏時における高緯度中規模TIDの衛星観測

小川 忠彦、五十嵐 喜良、相京 和弘、前野 英生  
(電波研究所)

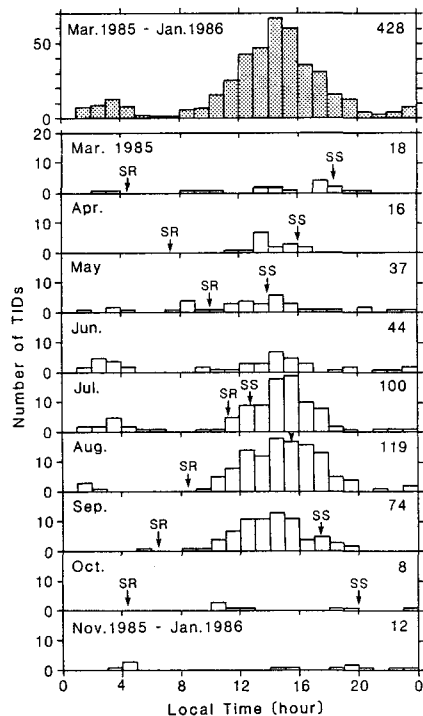
1985年3月9日から1986年1月11日の期間に、2周波(150/400MHz)のNNSS航法装置を用いて、昭和基地で電離圏の全電子数とシンチレーションの連続観測が行なわれた。地磁気擾乱が小さいかあるいは静かな時、しばしば全電子数(厳密には $150\text{MHz}$ と $400\text{MHz}$ との差分ドップラー周波数 $\Delta f = f_{150} - 3f_{400}/8$ )のデータに周期1~2分のTIDが観測された。この周期は、300km高度に換算すると、水平スケールが300~600kmの中規模TIDに対応する。TIDが観測された衛星パスは428(全パスの4%)である。

これらは、少なくとも昭和基地上空のオーロラ活動にあまり関係がないものである。地磁気擾乱が大きくなるほど、あるいはオーロラ活動が活発になるほど、NNSSからの150/400MHz波が電離層のirregularitiesで散乱されるために、 $\Delta f$ のデータも散乱してしまい、たとえオーロラ活動起源(ジュール加熱やローレンツ力)の中規模TIDが発生していても、データからこれらを識別することは困難である。この理由により、地磁気が比較的静穏時のみ、NNSSできれいなTIDが観測されることになる。

428例の統計結果は次のようになる。

- (1) 地磁気(昭和基地のK-指数)擾乱の増大とともに発生率が減少する(これは必ずしも事実を反映していないことに注意。上記のデータ識別上の問題に由来しているかもしれない)。これは、中規模TIDは地磁気活動に関係しないという、中緯度でのEvans et al. (Radio Sci., 18, 435-451, 1983)の結果と矛盾しない。
- (2) 7、8、9月(南半球の冬から春)に発生数が多くなり、8月がピークである。一方、11~1月の夏期にはほとんど発生しない。これは、冬と春秋に増加し、夏に減少するというEvans et al.の結果と定性的に一致する。
- (3) 日変化には4時LT頃と15時LT頃にピークがあるが(付図参照)、後者のピークが圧倒的に大きい。前者には昭和基地のオーロラ活動によるものが含まれている可能性がある。これらは、Evans et al.による、日の出前に最少で8時LTに最大になる、という結果と矛盾しない。
- (4) 赤道方向へ伝搬していると認められるものかなり存在する。これは、中規模TIDがAtmospheric Gravity Wavesによって引き起こされていることを示唆する。

中規模TIDの起源はオーロラ活動あるいは下層大気の擾乱にあるとされている。前者の場合、発生数はK-指数とともに増加するはずであるが、われわれやEvans et al.の結果から、必ずしもそうはなっていない。われわれの結果は、下層大気の擾乱によるAGWの発生が大きな原因と考えるべきであることを示している。事実、Hirota (J. Atmos. Terr. Phys., 46, 67-773, 1984)は、気象ロケットの観測データ解析から、高緯度のGravity Wavesの活動が冬季に最大になることを見つけている。



付図 TID発生数の統計。下段：各月の発生数の日変化(月の発生個数を右端に示す。SR：日の出、SS：日の入り、6月は太陽が出ない)。上段：全期間における日変化。

## 流星レーダによる極域中性風の観測—1985年の結果

田中高史・小川忠彦・五十嵐喜良 (電波研)

藤井良一・平沢威男

(極地研)

昭和基地における流星レーダの観測は、23次隊より始められ、26次隊までのデータが解析されつつある。23次隊と24次隊においては、それぞれ夏期間と冬期間のデータが1ヶ月分ほど取得された。25次隊と26次隊においてはほぼ1年間を通してデータが取得された。今回は26次隊のデータが1年分解析されたので報告する。

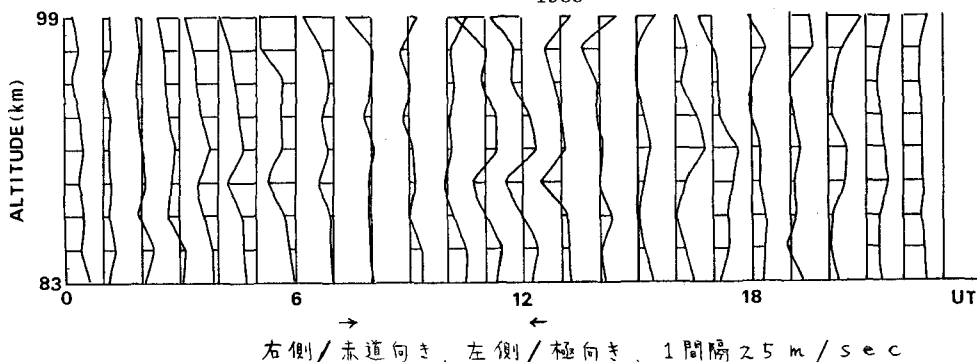
レーダは周波数50 MHzであり、極方向とそれから東方へ30度ずれた方向との二方向へ向いた二基のアンテナを有する。したがって、原理的には東西・南北両方向の風が観測できるが、東西方向への分解能は悪い。今回は主として南北方向の風について議論したい。

高度と地方時による統計結果を見ると、高度83 kmでは風はUT5時前後で極向きであり、全体として赤道向きである。一方85 km以上では、UT5時前後とUT13時前後で極向きとなり、かなりの半日周期成分が含まれている。したがって下層から上層にかけて、卓越する風のタイプが変わっていると思われる。また全体として高度89 kmに、極向きの風が見られる。これは23次隊と24次隊のデータによる統計結果にも現われていたものであり、さらに25次隊のデータによって確認することが必要と思われる。

極域での流星レーダ観測における問題点は、オーロラエコーをいかに取り除くかということである。今回の計算では、非線型の最小二乗法を用い、流星エコーを4パラメータの函数として表現し、データにフィッティングを行い、4パラメータの値と、最終残差からオーロラエコーと思われるデータを取り除いた。このようにして取得された流星エコーの数は、一年間で2万個程度と思われる。これらのデータは、季節、地方時、高度、地磁気活動度、方位について分類統計されなくてはならないが、データの個数からそれらのす

85 kmから95 kmのデータをとり出し、季節と地方時によって統計を取ると、上記の半日周期成分は、どの季節にも見られる

観測データは1年分がMT1巻にまとめられており、適当な機会に他の期間と合せて公開し、利用をお願いしたい。

N-S NEUTRAL WIND AT SYOWA STATION BY METEOR RADAR  
1985

## 南極中層大気のライダー観測 (JARE 26)

野村彰夫 (+), 岩坂泰信 (-), 福西 浩 (!), 平沢威男 (#)

川口貞男 (#), 鹿野哲生 (+)

(+) 信州大学工学部, (-) 名古屋大学水圏科学研究所

(!) 東北大学超高層物理学研究施設, (#) 国立極地研究所

### 1. はじめに

南極中層大気のライダーによる観測は、第24次隊においてルビーレーザによる成層圏エアロゾルの観測から始められた。第26次隊では、新たに色素レーザを導入して中間圏ナトリウム原子層の観測も実施した。ここでは、26次隊において、1985年の4月から10月にかけて行ったナトリウム原子層の観測結果について述べる。なお、観測システムについては、文献を参照していただきたい。

### 2. 観測経過と結果

越冬開始後の2月5日より色素レーザ送信システムの組み立てにかかり、3月8日にレーザの発振を確認した。その後、システムの動作テストを行い、3月18日よりテスト観測、29日より本観測を開始した。以後、10月までの約7ヶ月間に48日分の観測に成功した。特に5月から7月にかけて夜が長いいため15時間以上の長時間観測を行うことができた。

観測期間のナトリウム原子層の気柱密度の変化の結果を図1に示す。北半球中緯度帯に見られる冬季急増の傾向は存在していない。

鉛直分布の季節変化については、ピーク高度および幅についてそれぞれ  $90 \pm 3$  km、 $13 \pm 3$  kmの間に入っており顕著な変化は見られなかった。

次に、夜間の変化について、気柱密度は変化が激しいが他で観測されているような12時間周期の変動はない。しかし、鉛直分布の時間変化に内部重力波に起因する変動が観測された。また、オーロラ出現に伴いナトリウム原子層が希に影響を受けるが観測された。図3に気柱密度とコンターマップを地磁気とCNAの変化と比較して示す。

文献、A.NOMURA et al; Antarctic Record, No.85, pp.62-67(1985)

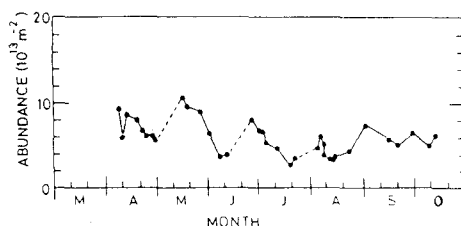


図1、ナトリウム気柱密度の季節変化

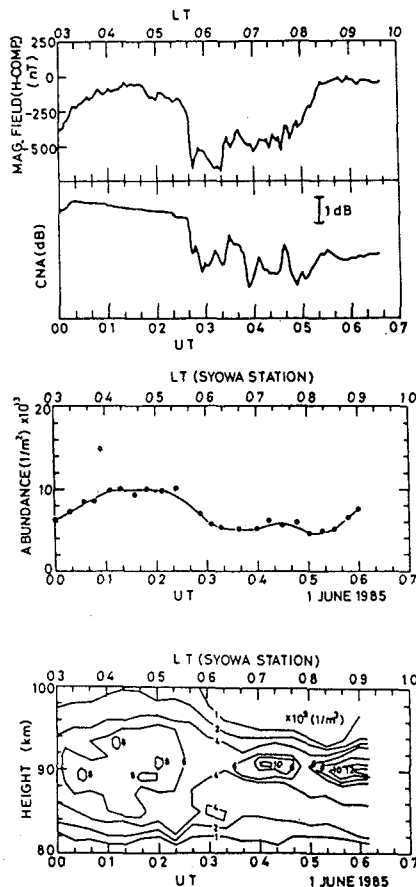


図2、ナトリウム原子層のオーロラによる影響



## ライダーを用いた中層大気重力波の観測

柴田 隆、福田光伸、成清 徹、前田 三男 (九大工)

60年4月からXeFエキシマレーザーを用いたRayleighライダーによる中層大気密度、温度の観測をおこなってきた。観測は快晴の夜に限られることから、月に約3回の頻度で、1夜につき平均約5時間の観測を行うことが出来た。得られた高度範囲は30から70km、最小の時間、距離分解能はそれぞれ2.5分、150mである。測定誤差は15分、1.5kmの分解能で、高度50、60kmそれぞれについて約1%、3K、および3%、10Kである。

得られ密度データより15km以下のスケールの変動成分をもとめ、その特徴を調べた。図1に60年8月19日から20日にかけての観測例を示す。約10kmの波の位相が下向きに移動している様子が見える。このような位相の降下は、ほとんどの測定例で見られる。変動のピークの移動の様子から、特に図1の例では位相速度下向き1km/hが見積られる。図2は同様の方法で得られた昨年4月から本年3月までの、位相速度の変化を示している。9月に最小値 -1.2 km/h をとるが、冬期は位相の動きが非常に遅く、1月、2月はほぼ0 km/hである。波長10km程度の波では、観測された波の半数以上の例で、周期が、福岡での慣性周期、約22時間を越えている。これらの例では、密度の変動が慣性重力波によるとすれば、平均流によるDoppler-shiftで周期が長くなったと解釈できる。これは、波の水平位相速度が平均流とは逆向きになっているべきことを示している。このほか以下のようなことが明らかとなった。波長10km付近の波の振幅は4月、10月に極小、8月、2月に極大をとり、半年変化を示す。密度変動の鉛直波数に対するパワースペクトル密度は  $-5/2$  乗の傾きを持つ。波のエネルギーは45km付近まで高さとともに減少傾向を示す。

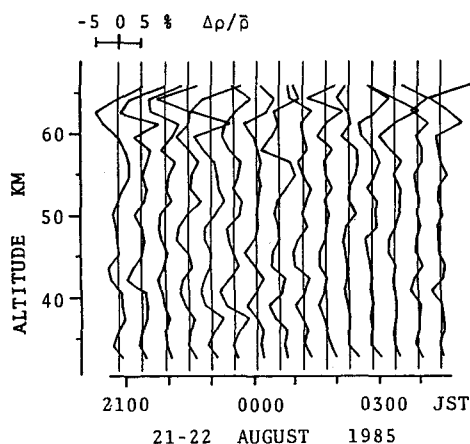


図1

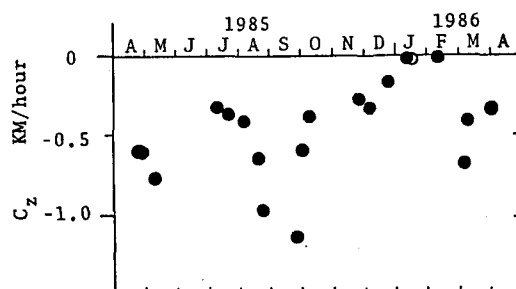


図2

ファブリーペロードップラーイメージングシステム (FPDIS) の開発と  
極域熱圏ダイナミックスの観測への応用

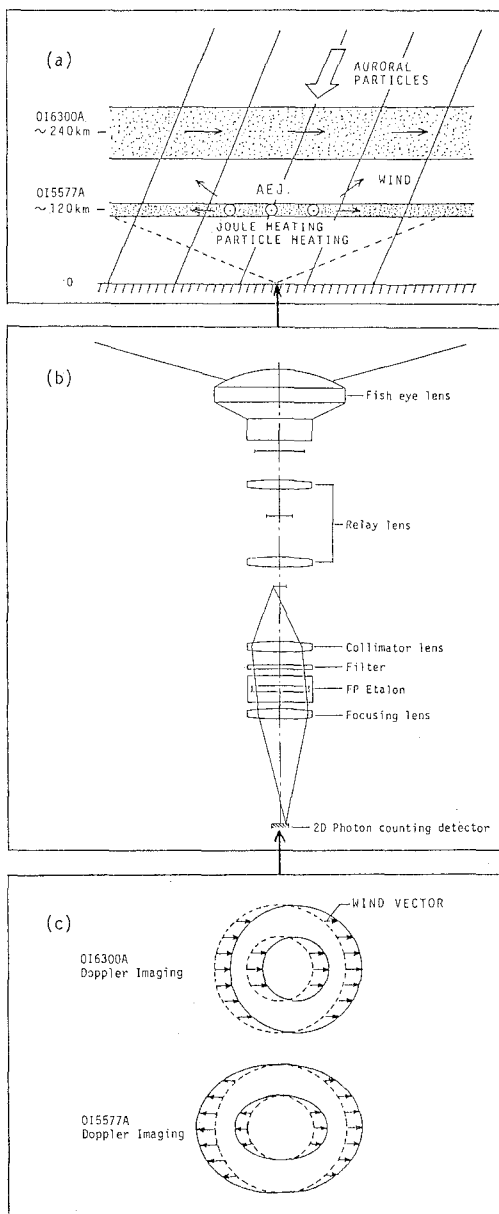
福西 浩、岡野章一、森岡 昭  
東北大学理学部

極域熱圏に特有の現象であるオーロラジェット電流によるジュール加熱、オーロラ粒子による加熱および電場によるイオンドリフトからの中性大気への運動量輸送に熱圏大気がどのように応答するかは磁気圏・電離圏・大気圏のエネルギー結合の観点から極めて重要な問題である。この問題の研究手段のひとつとしてファブリーペロー (FP) 干渉計を用いた輝線のドップラー幅および変位の観測から温度、および風の視線方向成分を求めるという方法がある。しかし従来のFP干渉計では天空の一方向のごく狭い領域を観測することはできたが、オーロラ出現時の時間的、空間的に激しく変動する熱圏ダイナミックスの全体像を解明することは困難であった。

FPDISは従来のFP干渉計による観測の弱点を克服し、様々なエネルギー流入に対する極域熱圏の応答を2次元的に観測することを可能にする広視野の2次元イメージングFP干渉計である。その測定原理、装置の構成を右図に示す。オーロラ光(図a)は魚眼レンズにより結像され、リレーレンズにより像は逐次縮小され、天頂角 $150^\circ$ の視野は $1.5^\circ$ の平行光束に変換される。この平行光束はFPエタロンを通過した後、結像レンズによって二次元光子計数管面上に結像され多種干渉リングがつくりだされる(図b)。これらのリングは天空の位置に一对一に対応している。2次元画像処理によりリングの真円からのずれからドップラーシフトが、リングの幅からドップラー幅が求まる(図c)。またFPエタロンをスキャンすることにより天空の離散的同心円上の位置におけるドップラー量のみでなく連続的な2次元平面上でのドップラー量分布を測定することも可能となる。

観測対象となる発光輝線は OI6300A、OI5577A、およびH $\beta$ 4861Aである。6300Aと5577Aの発光高度はそれぞれ240 km付近と120 km付近なので、それぞれのドップラーイメージングを観測することにより、風と温度の空間分布を2つの異なる高度で求めることができる。H $\beta$ の観測からは降下プロトンに関する情報を得ることができる。

現有の口径6 cmのFPエタロンを用いた光学系のプロトタイプを現在設計、製作中である。講演では将来の大型化も含め、このシステムの性能、観測可能な物理量について検討結果を報告する。



# 下層大気中の負イオン

川本洋人（京大理） 小川俊雄（高知大理）

最近、下層大気中の正負イオンの化学組成の研究が、実験的及び理論的に進められている。その結果、成層圏及び対流圏大気中において、イオンは微量気体成分とエアロゾル粒子に密接に関係していることが明らかになった。このことから、気候及び環境問題の研究において、大気イオンの研究は不可欠であると思われる（例えば、イオンと成層圏エアロゾル、イオンと酸性雨の関係の研究等）。

高度0-30 kmの大気負イオンの理論モデルを作成して、計算によりイオンの化学組成を求めた。理論モデル中の化学反応過程には、電子及び27種の負イオン、16種の中性気体、及び100個（下部成層圏では96個）の化学反応を考慮した。計算結果と観測結果との比較（ $\text{NO}_3^-$ 核及び $\text{HSO}_4^-$ 核を持つ負イ

オンについて、それぞれ図1及び図2に示す）から、次のような結論を得た。（1）主要な負イオンは $\text{NO}_3^-$ 核または $\text{HSO}_4^-$ 核を持つ。（2）高度領域0-10 kmでは $\text{NO}_3^- \cdot \text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、10-30 kmでは $\text{NO}_3^- \cdot (\text{HNO}_3)_2$ が最多イオンである。（3）高度30 km付近における $\text{HSO}_4^- \cdot (\text{H}_2\text{SO}_4)_n$ 型の負イオンの急増は、それらから成層圏の硫酸エアロゾルへの成長を示唆する。

極域においては、大気イオンに関係するエアロゾル及び微量気体成分の観測が行われている。最近、成層圏におけるエアロゾルの冬季増大、オゾンの春季急減等の、興味ある、また世界的な大気汚染研究の見地から非常に重要な現象が発見された。これらの諸問題と、極域における大気イオンの関係について議論する。

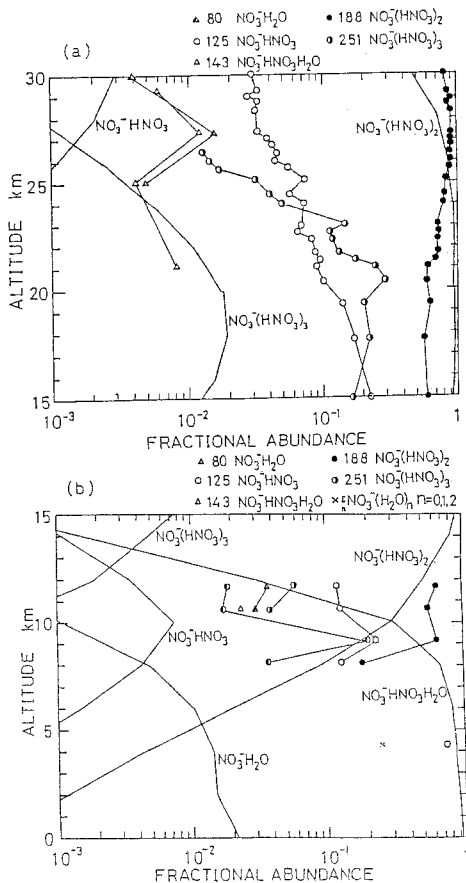


図1.  $\text{NO}_3^-$ 核を持つ負イオンの理論計算による高度分布（実線）と観測結果（記号）との比較。（a）下部成層圏（15-30 km）。（b）対流圏（0-15 km）。

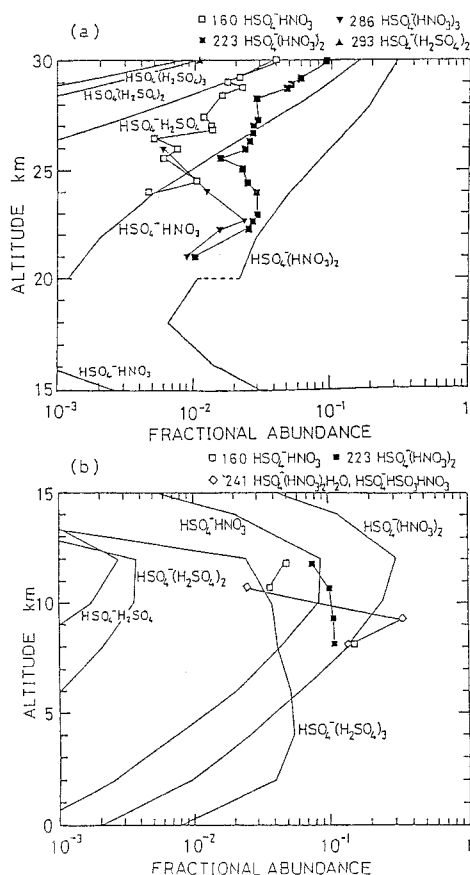


図2.  $\text{HSO}_4^-$ 核を持つ負イオンの理論計算による高度分布（実線）と観測結果（記号）との比較。（a）下部成層圏（15-30 km）。（b）対流圏（0-15 km）。

# 磁場モデル計算による 昭和-アイスランド 共役点の遷移

小野 高幸 平澤 威男 鮎川 勝  
(WDC-C2 for Aurora, 極地研)

## I 序

地磁気共役点に位置する昭和基地-アイスランドの対はオーロラ帯に位置し、かつ IGY 以後定常的な観測が継続されている観測点として極めて貴重な存在となっている。地磁気共役点は厳密には地球磁場永年変化、及び磁気圏内電流に起因する磁力線の変形の影響により i) 永年変化 ii) 季節変化 iii) 日変化 及び iv) オーロラ活動度等に供なう変化を呈する。ここでは、現在入手可能な磁場モデルを用いた計算により昭和基地-アイスランド共役点の時間的変化の性質を示し、共役点観測結果を解釈する上での一助としたい。

## II 磁場モデル

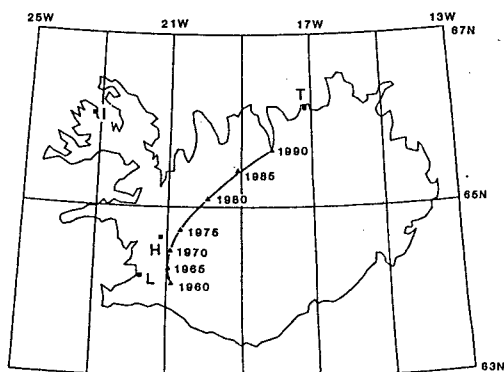
**内部磁場：** 現在 IAGA division I, working group I (1986) により 1945 年より 1985 年までの 5 年毎の Gauss 係数が提唱されている (IGRF モデル)。ここでは 10 次の係数を持つ 1960 年以後の IGRF モデルに基づき地球内部磁場を導出した。

**外部磁場：** 磁気圏内電流分布を仮定した Olson Pfitzer モデル (1974, 1979) 及び、衛星観測データに基づく Mead Fairfield モデル (1975) により磁気圏を形成する外部磁場モデルとした。

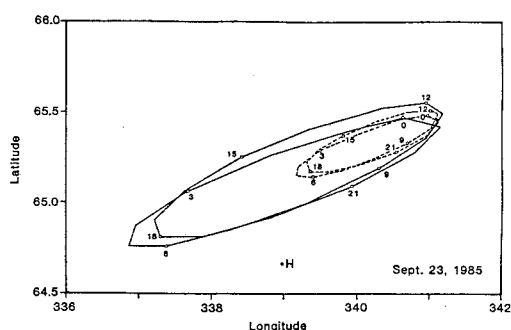
## III 計算結果例

第1図に内部磁場のみ (IGRF モデル) を用いた、1960 年～1990 年の昭和基地の共役点の永年変化を示す。1960 年 Lirvogur (L) の近傍に存在した共役点は 1985 年には Husafell (H) と Tjornes (T) との中間点にまで移動した事が示される。

第2図に外部磁場として Mead Fairfield モデル (SQ 及び SD) を適用した秋分時の昭和基地共役点日変化を示す。共役点は、SD ( $K_p > 3$ ) の場合 200 km 程度の日変化を呈するが、SD 及び SQ ( $K_p < 0+$ ) のいずれも共役点オーロラ観測の時間帯 (22h～01h) には IGRF モデルによる共役点の近傍に位置する事が示される。



第1図 1960-1990年における昭和基地共役点の遷移



第2図 Mead Fairfield モデルによる  
秋分時昭和基地共役点の日変化

# CNA 脈動とその関連現象の共役性 (1)

樋口喜啓 渋谷仙吉 佐藤夏雄 前沢潔

(山形大工) (山形大理) (極地研) (山形大理)

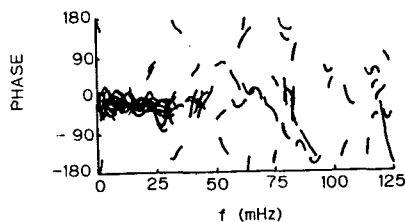
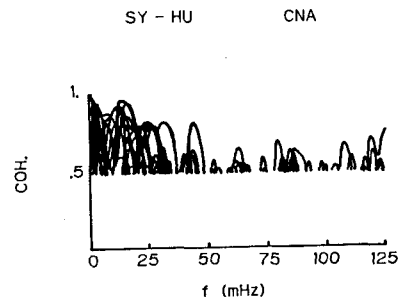
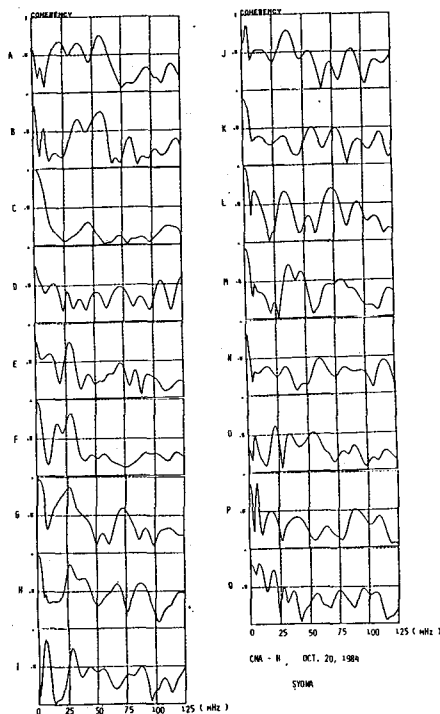
1. はじめに 地磁気活動度が高く、一タについて、Q 値、偏波度、偏波の主軸の地磁気脈動 (Pc 3-5) の活発な午前側には、方向、偏平度を調べた。偏平度は SYOWA では同時に、CNA 脈動も多く観測される事は知られている (1)。磁気圏内における粒子・波動相互作用を解明するうえで重要と考えられる高エネルギー粒子の降下に伴って生ずる CNA 脈動と地磁気脈動との相互相関解析、および偏波特性の解析をおこなった (2)。30 mHz 以下では相関係数が大きく、位相は小さく南北共役性が良い事がわかった。今回は CNA 脈動の南北共役性について解析を試みた。

2. 相互相関・位相および偏波特性 CNA 脈動と地磁気脈動の H, D 成分との相関関係を調べるために、それぞれの成分ごとに相互相関解析をおこなった (第1図)。又、CNA 脈動と地磁気脈動との位相差に、周波数依存性がみられ、CNA 脈動に対して地磁気脈動が遅れて地表へ伝搬してくることが確かめられた。相関係数が 0.5 以上のデ

3. 南北共役性 SYOWA-HUSAFELL において同時に観測された CNA 脈動の相互相関・位相の解析結果を第2図に示した。周波数が、30 mHz 以下では相関係数が大きく、位相差は小さく南北共役性が良い事がわかった。

## 参考文献

- (1) CNA Pulsation と関連現象：極域における電離圏磁気圏総合観測シンポジウム講演要旨 (1983) 19; Pc 3 脈動に伴う CNA, VLF 放射 modulation (1984) 45; Pc 3-5 に伴う CNA 脈動 (1985) 78. (2) CNA Pulsations associated with Pc 3-5 magnetic pulsations, 1986.



OCT 20, 07<sup>h</sup>30<sup>m</sup>-09<sup>h</sup>45<sup>m</sup> 1984

# 昭和-アイスランドの地磁気共役点でのSCについて

永野 宏、荒木 徹、家森 俊彦、佐藤 夏雄、鮎川 勝  
 (朝日大) (京大理) (京大理) (極地研) (極地研)

我々は、北米IMS networkの地磁気のデータを用いて、地上高緯度でのSC polarizationについては、地磁気緯度 $70^\circ$ の近傍で緯度方向の逆転が起こること、またこれには、2つのtype(H typeとD type)が存在することを明らかにした。H typeはH成分が顕著な緯度変化を示し、磁気圏の前部の中を伝播していくimpulsive waveの波面に沿って生じるdusk-to-dawnの電場が極電離層に磁力線に沿って伝達され、これによりtwin-vortices typeの電離層電流が生じ、このvorticesが夜側に移動していく時の磁場変動をもって説明可能である。午後側にのみ出現し、D成分が顕著な変化を示すD typeは、polar capからの磁力線の部分にshockが衝突し、そこから伝播するimpulsive waveの波面上のdawn-to-dusk電場が極電離層に伝達され、これと前述のdusk-to-dawn電場との重ね合わせにより生じていると考えられる。それゆえ、惑星間空間を伝播していくshock frontの地球磁気圏に対する傾きがこれらの違いに原因していると考えられ、図1の(a)の場合であると地上高緯度でのSC polarizationはH typeのみが出現するが、(b)の場合であるとH、D両typeが出現すると思われる。この事からすると、南北地磁気共役点でのSCの同時観測においても変化に違いが生じる場合もありえると考えられ、この点から昭和-アイスランドの共役点でのSCについて検討を試みる。図2は昭和とHusafellでの地磁気についてのInduction成分、Fluxgate成分とCNAのSCの時の変化の1例であるが、H成分の変化に顕著な違いがあることが分かる。また、CNAの変化を見ると、両観測点ともSCの後、数分後にpeakを持つような大きな減少を示している。SC時のCNAの変化には、その他gradualな減少の場合や、何ら減少を示さない場合等があるが、この違いについても結果を報告する。

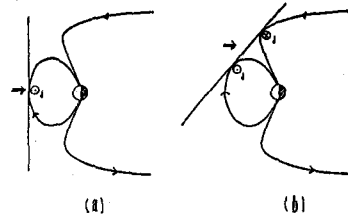


図 1

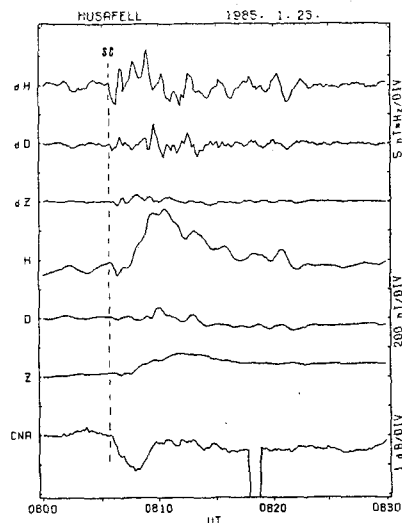
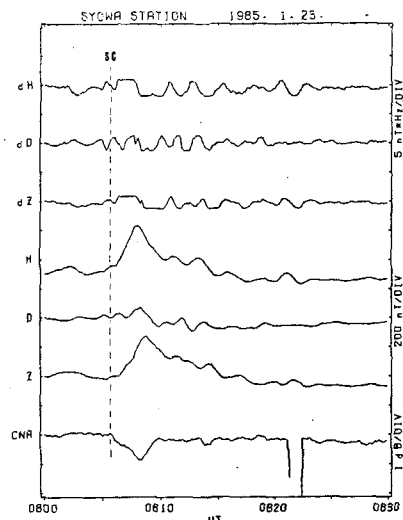


図 2

# Pi2型磁気脈動の共役性

桜井 亨, 佐藤 夏雄, 利根川 豊  
(東海大工) (和地研) (東海大工)

1984年9月に実施された 南極 昭  
和基地とアイスランド 三島 Husafell(Hu)  
Isafjordur(Is), Tjornes(Tj) での  
同時観測 データを使用して、Pi2型脈動  
の共役性とアイスランド三島でのPi2の振動  
特性を調べた。

結果 …… 共役性

- 1). Sy と Iceland 三島で Pi2 は同時に観測  
される。
- 2). 波形および周期の coherence は Sy-Hu,  
Sy-Is より、Sy-Tj ほど悪くなる。
- 3). H-component と D-component に比較  
して coherence は高い。
- 4). Pi2 の odd-mode と 12 の共役性は  
Sy-Hu, Sy-Is, Sy-Tj の順に悪くなる。  
H-component と D-component より  
共役性かなり明瞭である。
- 5). 主軸の向きは Sy が N-W, Hu が N-E,  
Is ありこの内地奥の主軸は互いに鏡面対称  
の関係にある。  
Sy:  $-50^{\circ}-0^{\circ}$  に 82%, Hu:  $0^{\circ}-40^{\circ}$  に 82%  
6) 上記の関係は Is, Tj にならなかつた  
に悪くなる。Is:  $0^{\circ}-40^{\circ}$  に 55%,  
Tj:  $0^{\circ}-40^{\circ}$  に 33% となり、Tj ほどは  
 $-40^{\circ}-40^{\circ}$  に 78% と主軸の向きは  
N-E, N-W 両方向に半々に分かれる。
- 7). Ellipticity は 4 地奥共大部分 0.4  
以下であり、ほぼ直線偏波に近い  
ことを示しているが、  
Sy:  $-0.5-0.0$  (45%),  $0.0-0.5$  (45%)  
Hu:  $0.0-0.5$  (72%)  
Is:  $0.0-0.5$  (89%)  
Tj:  $0.0-0.5$  (66%)  
となり、Sy が CC (左廻り) と C (右廻り)  
とが半々であるのに対して、アイスランド  
三島はいずれも C (右廻り) が大部分を  
占めている。中でも Hu, Is では  $\pm 0.2$   
の範囲に全体の 65% が入っており、いかに  
直線偏波の傾向が強いことを示している。

以上の共役奥間での Pi2 の共役性は桑島氏  
(1978, 1981) の研究結果と大筋において  
一致するが、Sy-Hu (Rykjavik) の共役  
奥での解析結果より、より細かい明瞭とな  
った。また、この研究で用いた Sy, Hu, Is, Tj  
の極光帯での Pi2 の振動は必ずしも明瞭な  
odd mode の特性を示す訳ではないことが明  
らかにされた。即ち Pi2 のより正確に磁気圏  
での振動 mode の一つの shear Alfvén wave の  
性質を強く表わしている様に見える。

次にアイスランド三島間の Pi2 の振動特性  
を列記する。

結果

- 1). 勿論同時出現する
- 2). 波形, スワクトル は必ずしも一致しない。
- 3). 概して H-component と D-component に  
比較して coherence は高い。逆の場合もある。
- 4). 主軸の向きに相違がある。  
Hu:  $0^{\circ}-40^{\circ}$  (80%),  $0^{\circ}-40^{\circ}$  (10%), 他 10%  
Is:  $0^{\circ}-40^{\circ}$  (55%),  $0^{\circ}-40^{\circ}$  (20%), 他 25%  
Tj:  $0^{\circ}-40^{\circ}$  (33%),  $0^{\circ}-40^{\circ}$  (44%), 他 23%
- 5). Ellipticity は前記にある様に大部分が  
 $\pm 0.2$  の範囲に入っている。この特徴は Hu,  
Is ほど明瞭である。
- 6). 同一子午面内にある Hu と Is 間での  
位相関係と云うと、Southwood (1975),  
Hughes & Southwood (1976a, b) の理論  
による resonance theory から出された  
位相関係と極めて類似の結果を得た。  
即ち、Hu-Is の位相関係は、H-component  
Hu に対して高緯度側 Is での位相差 70%,  
D-component と同様に Is での Hu に対して位相  
差 60% であり、H-component と D-component  
より、より大きな位相差を示している。

以上の結果は、統計的解析に基づいたか  
く々の Case についてはオーロラ プラズマとの  
関係により詳しく検討されるはならぬ。

NORTHERN AND SOUTHERN HEMISPHERE ASYMMETRY OF Pc 3 MAGNETIC PULSATIONS  
OBSERVED AT LOW-LATITUDE CONJUGATE STATIONS

K. Yumoto<sup>1</sup>, T. Saito<sup>1</sup>, Y. Tanaka<sup>2</sup>, J.W. Lynn<sup>3</sup>, F.M. Menk<sup>4</sup> and B.J. Fraser<sup>4</sup>

1; Onagawa Magnetic Observatory & Geophysical Institute, Tohoku University, Sendai

2; Research Institute of Atmospherics, Nagoya University, Toyokawa 442

3; Electronics Research Laboratory, Defence Research Centre Salisbury, Australia

4; Department of Physics, the University of Newcastle, Australia

In order to stimulate both our theoretical and experimental research on low-latitude Pc 3 magnetic pulsations, we have carried out the Japan-Australia magnetic conjugate observations at Asahikawa (ASH) in Japan and Birdsville (BSV), i.e., the conjugate point of ASH, Dalby (DAL) and St. Kilda (SKD) in Australia during the period from 20 July to 16 September 1986. The station distributions are illustrated in the figure. The DAL, SKD, and BSV pulsation data are used to examine horizontal movements (i.e., apparent wave number) of ionospheric current pattern associated with Pc 3 magnetic pulsations. The SKD site is located at the same meridian of the conjugate points and near the foot point of standing field-line oscillations in the Pc 3 frequency range at  $\sim 45^\circ$  magnetic latitude.

From the preliminary analysis of these conjugate-station data, occurrence characteristics of low-latitude Pc 3 pulsations are found as follows;

(1) Longitudinal dependence of Pc 3 amplitudes at DAL is similar to that at BSV, which are located at the same magnetic latitude.

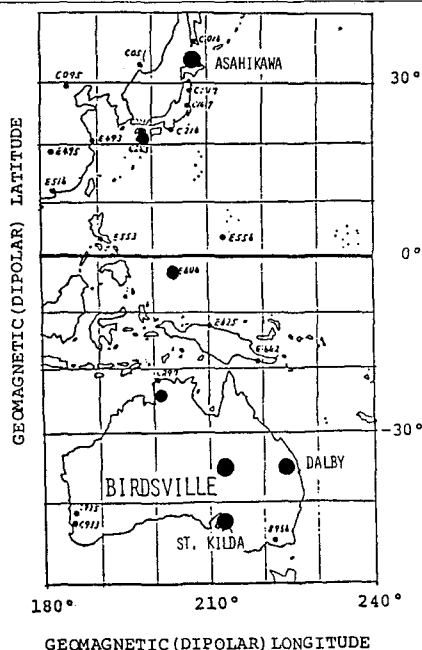
(2) H-component amplitudes of low-latitude Pc 3 at the conjugate stations (ASH, BSV) are larger in the winter hemisphere than in the summer hemisphere.

(3) Whereas D-component amplitudes of the Pc 3 at ASH and BSV are comparable.

(4) Apparent wave vectors inferred from the phase relation among Pc 3 pulsations at DAL, BSV, and SKD indicate westward and eastward propagations in the morning and afternoon sectors, respectively.

These observational results suggest that Pc 3 magnetic pulsations at the low-latitude conjugate stations ( $L \sim 1.5$ ) are predominantly associated with compressional Pc 3 waves, which are believed to propagate from outside the magnetosphere into the low-latitude ionosphere. In this paper, ionospheric effects on Pc 3 magnetic pulsations at low latitudes will be discussed theoretically to interpret the northern and southern asymmetry of H-component Pc 3 amplitude at the conjugate stations.

STATION	GEOGRAPHIC		CONJUGATE POINT		L =
	LONGITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	
ASAHIKAWA	142.2000	43.9722°			1.551
BIRDVILLE	139.3333°	-25.8333°	142.1845°	43.9486°	1.550
DALBY	151.2000°	-27.1833°	158.4427°	44.1308°	1.560
ST. KILDA	138.5°	-34.7°	143.23°	53.44°	2.105





## 周波数別に見た Polar Chorus 放射の季節変化と共役性

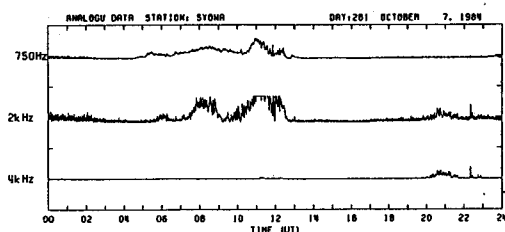
鈴木 博之\*、佐藤 夏雄\*\*、渋谷 仙吉\*、前澤 潔\*、共役点観測グループ  
\*山形大学 理、\*\*極地研究所

ボーラーコーラス放射の季節変化と共役性については前回の講演でボーラーコーラス放射の最も強い 750 Hz 帯のデータ解析の結果、共役点（南極の Syowa 基地とアイスランドの Husafell）においての出現は主に昼間に起こり、出現頻度は夏に最大、冬に最小となるが、そのピークの出現時間は、Syowa の方が約 1 時間程早いことを報告した。今回は、1984 年 8 月から 1985 年 8 月までの 1 年分の共役点同時観測の ELF-VLF 放射データのうち 750 Hz、2 kHz、4 kHz を用いてボーラーコーラス放射が主に昼間に出現することから、昼の現象に注目して、出現頻度の日変化、季節変化、それらの地磁気活動度 (Kp-index) への依存性について解析を行った。

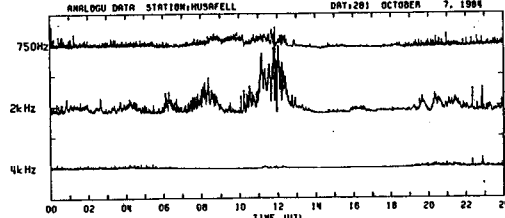
解析の結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 750 Hz 帯での出現頻度の日変化は、大小 2 つのピークからなり、小さなピークは大きなピークより約 3 時間前に現れて、それぞれのピークの出現時間はともに Syowa (11 時) が Husafell より約 1 時間程早い。出現頻度は、夏に最大、冬に最小となる。

出現は一般に Kp 1-3 のときに起こるが、午前側では多少荒れた (Kp 4-5) のときに起こり、また、夏の夕方 (18 時頃) の静かな (Kp 0-1) のときにも起こる。



1984年10月7日にSyowaで観測されたボーラーコーラス



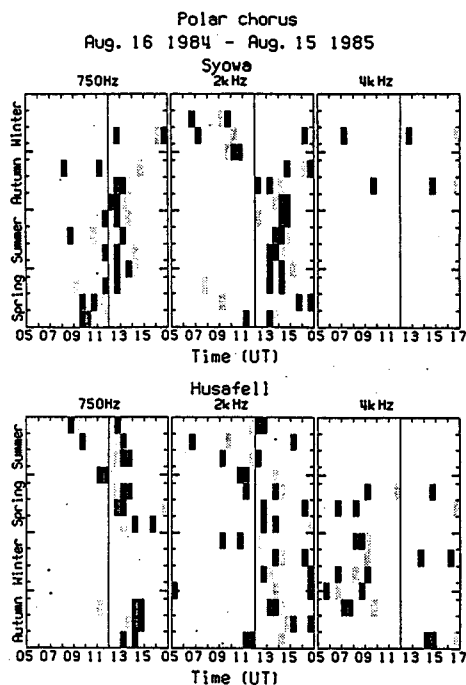
1984年10月7日にHusafellで観測された  
ボーラーコーラス

(2) 2 kHz 帯での出現頻度の日変化のピークは、Husafell (11 時) が約 2 時間早く現れる。Syowa では、夏に最大、冬に最小となる季節変化がみられるが、Husafell は、冬にも出現がみられる。Kp 依存性は 750 Hz とほぼ同じ傾向にあるが、一般に Kp は高め (Kp 2-4) で起こり、夏の夕方 (18 時頃) の静かなとき 750 Hz にみられた出現はない。また秋・冬・春の早朝 (Syowa では 6-9 時) の荒れたとき (Kp 4-6) にも出現がみられ、この出現も Husafell が約 2 時間程早い。

(3) 4 kHz 帯では Husafell の秋・冬・春の 6 時から 9 時の Kp 5-7 に出現がみられ、特に冬に頻度は高くなる。Syowa ではこのような出現はない。

(4) 750 Hz 帯、2 kHz 帯には出現頻度のピーク時間の季節による移動がみられ、春→夏→秋の変化で Syowa では午前→午後→午前となるが、Husafell では午後→午前→午後と移動する。

以上の結果をもとに、共役性、非共役性に関する物理的機構について検討する。



共役点における 2 kHz 帯、4 kHz 帯、8 kHz 帯の  
ボーラーコーラスの出現頻度のピーク時間の季節変化

# 周波数別に見た Auroral Hiss 放射の季節変化と共役性

鈴木 博之\*, 佐藤 夏雄\*\*, 渋谷 仙吉\*, 前澤 潔\*, 共役点観測グループ

\*山形大学 理、\*\*極地研究所

夜間のオーロラ現象に伴って発生するオーロラヒス放射が、著しい季節変化を示すことは、以前から知られている。この季節変化や日変化が地磁気活動度とどのような関わりを持ち、また、共役点においてどのような違いがあるかを調べるため、共役点（南極の Syowa 基地とアイスランドの Husafell）において観測された1984年8月から1985年8月までの1年分のELF-VLF放射のデータのうち、オーロラヒス放射の現れる2 kHz、4 kHz、8 kHzの夜間の現象に注目して解析を行った。解析の結果、以下のことが明らかになった。

(1) 2 kHz 帯での出現は主に秋・冬・春・にあり、夏に最小となる。日変化する出現頻度のピークはHusafell (18時) がSyowa より約3時間程早い。出現は一般にKp 3-5のときに起こるが、出現頻度がピークとなる時刻より前ではこの範囲内 (Kp 3-5) でより荒れたとき、後ではより静かなときに起こる。

(2) 4 kHz 帯での出現頻度の日変化のピークは、Husafell (20時) が約1時間程Syowa より早い。季節変化は、冬に最大、夏に最小となる。出現は一般にKp 3-6のときに起こり、2 kHz 帯と同様に出現頻度がピーク

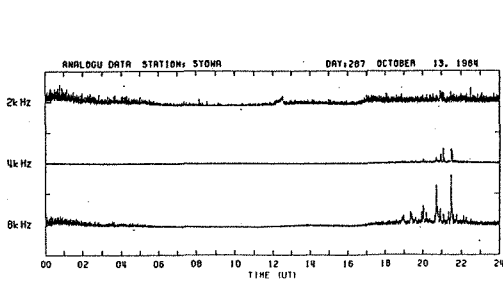
となる時刻より前ではこの範囲内 (Kp 3-6) でより荒れたとき、後ではより静かなときに起こる。

(3) 8 kHz 帯での出現頻度の日変化のピークはSyowa (21時) が約1時間程早く、出現は主に秋・冬・春にあり夏に最小となる。また出現のKp依存性は2 kHz、4 kHzと同様の傾向にあるが、出現は一般にKp 1-5と範囲が広がる。

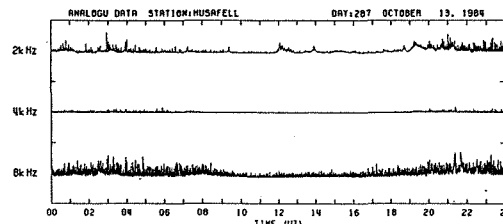
(4) Husafellにおいては、周波数が上昇するにつれて、日変化する出現頻度のピーク時間が (2 kHz 帯が18時、4 kHz 帯が20時、8 kHz 帯が22時) 遅い時間に移るがSyowa ではこのような変化はない。

(5) 出現頻度の日変化のピークの出現時刻は2 kHz 帯については、春→夏→秋→冬の変化で、Syowa では23時→19時→22時→23時と移るが、Husafellでは18時→20時→23時→18時へと移動する。4 kHz 帯、8 kHz 帯についてもピーク時刻は2 kHz 帯とはそれぞれ異なるがそれぞれの観測点で2 kHz 帯と同様の動きを示す。

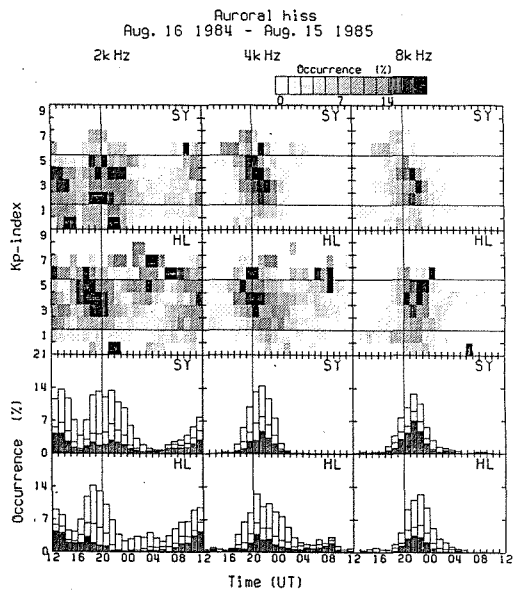
以上の結果をもとに共役性、非共役性に関する物理的機構を検討する。



1984年10月13日にSyowaで観測されたオーロラヒス



1984年10月13日にHusafellで観測されたオーロラヒス



共役点における2 kHz 帯、4 kHz 帯、8 kHz 帯のオーロラヒスの出現頻度の日変化とKp依存性

## オーロラの強度から見た共役性

藤井 良一, 佐藤夏雄, 小野高幸  
(極地研究所)

昭和基地-アイスランド地磁気共役点で取得されたオーロラ全天テレビカメラデータ(1984~)を用いて、今までパルセーティングオーロラの形態及び出現タイミングの共役性<sup>1)</sup>及びオーロラアークとそれに伴う小・中規模渦状構造の共役性について報告を行ってきた。

これらのオーロラの発生機構を議論する上で重要な情報を与えるものとして、形態・動き・出現タイミングの他にオーロラ発光強度の南北比が挙げられる。この特性は、オーロラ粒子の precipitation の機構、加速の機構についての情報や地球磁場強度とオーロラの発光強度との関係についての情報を与えてくれる。

Stenbaek-Nielsen et al. (1973) は College 付近の磁気 meridian の共役点データから、低緯度アークオーロラについては、北半球側の方が南半球側よりも30%程度、強度が強いことを見出した。その原因として彼らは、College の meridian では、北半球

側の方が、南半球側よりも地球磁場が8000 nT程弱いことを理由として挙げた。彼らの議論が正しいとすると、昭和基地-アイスランド共役点では、並に南半球側のオーロラ強度が強くなることが予想される。

しかし実際に昭和基地-アイスランド共役点で得られたデータからは、南北オーロラの強度比は必ずしも上記の予想のようにはなっていない<sup>2)</sup>。特にパルセーティングオーロラに関しては、南北の発光強度比は、パルセーティングオーロラの種類によって異なるように思われる。

本講演では、テレビカメラデータから得られる相対的発光強度と同時観測のフォトメータデータを用いてキャリアレーションを行い、南北比較を行った結果について報告を行う。

1) Fujii et al., Conjugacies of pulsating auroras by All-sky TV observations, Geophys. Res. Lett., in press.

2) Sato et al., Conjugacy of proton and electron auroras observed near L=6.1, Geophys. Res. Lett., in press.

## S-310JA-11 及び 12号ロケット実験時の 地上観測によるオーロラ及び関連現象

山岸久雄（極地研） 福西 浩（東北大・理）

26 次南極観測隊では、二機の S-310JA 型ロケットにより、オーロラ中の波動、粒子、電磁場の総合的観測が行なわれた。本講演ではロケットが観測したオーロラについて、地上からの観測結果を示し、各観測器の観測結果を議論する上での共通基盤を提供したい。

### S-310JA-11 号機飛翔時のオーロラ

S-310JA-11号機は 1985 年 5 月 29 日 00 時 59 分 53 秒 UT 磁南々東方向に発射され、発射後 227 秒に最高々度 211.7km に達した。ロケット飛翔時は地磁気活動の静穏時で、昭和基地の地磁気水平成分の変化は 10nT であった。ロケットは上昇時、磁東西方向にのびる静かなアーク（発光強度 4 kR）に入ったが、APEX 付近でこれから外れた。下降時、再び 2.5kR のオーロラアークに入り、アークの中を下降し続けた。（図 1 参照）。

### S-310JA-12号機飛翔時のオーロラ

S-310JA-12号機はプロトンフレアに起因する磁嵐の最中、1985 年 7 月 12 日 19 時 35 分 39 秒、磁北方向に発射され発射後 234 秒に最高々度 222.6km に達した。ロケット飛翔時の昭和基地の地磁気水平成分の変化は -360nT で、CNA は約 2dB であった。ロケット飛翔時、全天にわたり 4kR 以上のオーロラ発光が起こっており、その中にフリッカリングを伴う動きの速いオーロラが出現していた。ロケットは上昇時磁南北方向にのびる 14kR のオーロラアークに入り、APEX 付近でこのアークから外れたが下降時、東側に現れた新たなアークに入った。このアークは磁南東方向に動き、ロケットはこれを追いかけるように飛翔を続けた。（図 2 参照）。

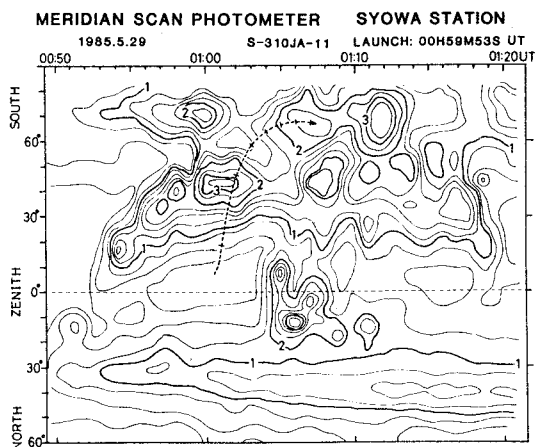


図1 S-310JA-11号機 飛翔時の  $5577\text{\AA}$  掃天ホトメタ  
による オーロラのマップとロケット飛跡

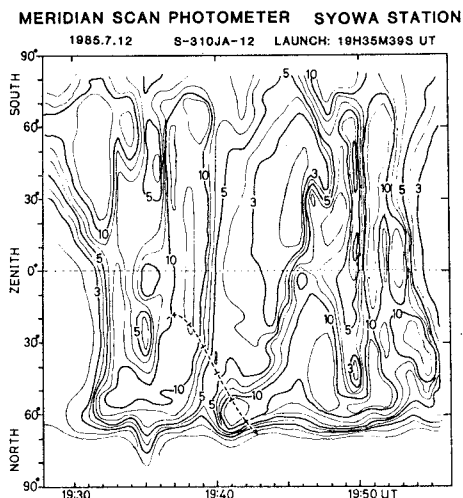


図2 S-310JA-12号機 飛翔時の  $5577\text{\AA}$  掃天  
ホトメタによる オーロラのマップとロケット飛跡

# 南極ロケット S-310JA-11, 12 号機の姿勢測定

高橋隆男, 遠山文雄, 藤井良一, 国分 征, 福西 浩, 山岸久雄  
(東海大・工) (極地研) (東大・理) (東北大・理) (極地研)

第26次南極観測隊によって昭和基地から打ち上げられたS-310JA-11および12号機には三成分フラックスゲート型磁力計(MGF)が搭載され、極域電流系による微小磁場変動の観測の他、地磁気を基準としたロケットの姿勢変化をも併せて測定する目的を持っている。ロケットの開頭直後、MGFセンサはロケット機軸と直角方向にブームによって伸展され、ロケット中心から39.4 cmの距離となり、磁氣的干渉を軽減させている。磁力計の測定磁場範囲は各成分とも $\pm 60,000$  nTで10 msec毎の三成分サンプリングを行い、雑音レベルは5 nT以下である。

打ち上げ前には国内で入念な磁気バイアス較正試験が磁気シールドルーム(宇宙科学研究所)で実施され、他の観測機器との干渉、電氣的雑音レベル、感度特性、誘導磁気量および直流バイアス量の測定を行った。その結果、伸展されたセンサ位置での磁気バイアス量は全磁力に換算して11, 12号機がそれぞれ504 nT, 403 nTであった。しかし、フライトデータからの推定値によるとそれぞれ、835 nT, 450 nTが適している。

MGFは両機とも良好なデータが得られ、ロケットの姿勢変化が解析された。同時に搭載された地平線センサの結果との解析から、絶対姿勢の推定も行われた。

地磁気姿勢の結果を表1に示す。12号機のプレセッション角はやや大きめであった。図1には昭和基地での理論磁場方向とロケット機軸とのなす角度変化を示してある。両機とも落下までにはほぼ一周期のコーニングを行っている。図2は同時搭載された地平線センサ(HOS)による姿勢情報と地磁気姿勢との解析から推定した絶対姿勢をステレオネットに示す。第25次南極観測隊ではS-520JA-8, 9, 10号機の三機の観測ロケットを打ち上げているが、そのロケットの姿勢もまとめて述べる。

表1 RESULTS OF GEOMAGNETIC ATTITUDE

	S-310JA-11	S-310JA-12
Spin Frequency (Hz)	0.57	0.56
Coning Half Angle (deg)	10.5	23.5
Coning Period (sec)	340	290
Magnetic Offset (nT)	835	450

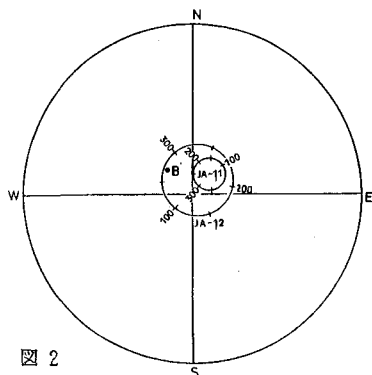


図2

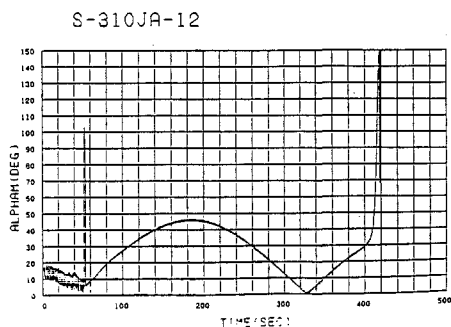
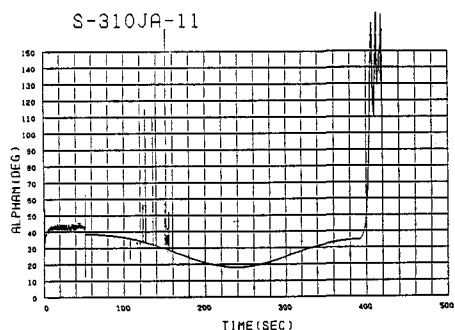


図1

# 南極ロケット (S-310JA-11及び12) によるオーロラ電離層電子密度の観測

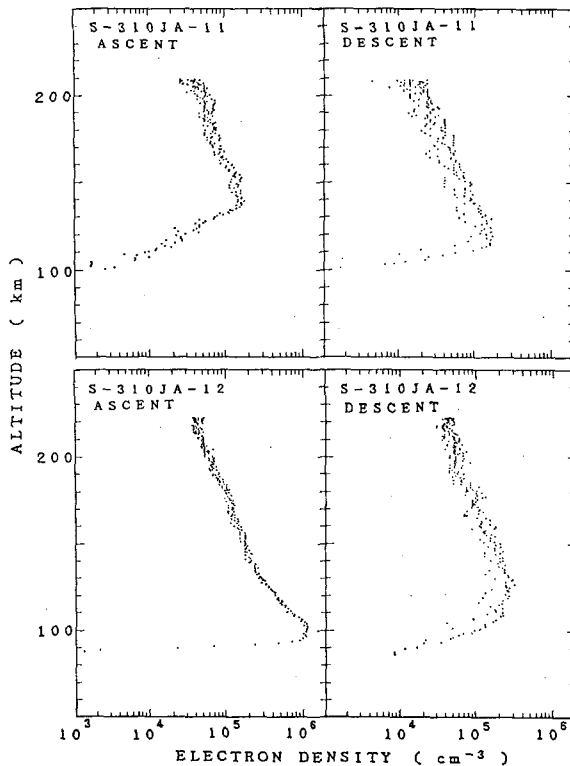
高橋忠利、 渡辺勇三、 山岸久雄、 福西 浩、 大塚 寛  
 (東北大理) (宇宙研) (極地研) (東北大理) (東北大理)

第26次南極観測隊によるS-310JA-11号機及び12号機のロケット実験はオーロラ中の波動-粒子相互作用の解明のためオーロラ電離層アラスマの総合観測を行った。インピーダンス・プローブはこの総合観測の中で、種々の波動現象の舞台となる電離層アラスマの電子密度を約0.6秒の時間分解能で計測した。インピーダンス・プローブはまた、その掃引波形の解析により電子密度の他、その変動成分や電子温度についての情報を引き出すことも可能である。

下図に11号機、及び12号機によって得られた電子密度の高度プロファイルを夫々、ロケットの上昇時及び下降時について示

ている。11号機は解かな時のオーロラ・アーク中での電子密度、12号機はオーロラブレイクアップ時のパルセーティング・オーロラ中での電離層の様相を示し、夫々が特徴ある密度プロファイルとなっている。

これらの結果にもとづき、オーロラ形態及び降下粒子と電離層構造との関連、他のPIによって得られた波動現象と背景電離層構造との関係について考察する。更にインピーダンス・プローブの掃引波形解析より得られる情報の吟味、過去IMS期間等に得られたオーロラ電離層構造との対比等についても議論したい。



## 南極ロケット S-310JA-11 及び 12号機による オーロラ粒子観測

山岸久雄、宮岡 宏、江尻全機（国立極地研究所）岡村 宏（電気通信大学）佐川永一（電波研究所）  
向井利典（宇宙科学研究所） 賀谷信幸（神戸大 工） 福西 浩（東北大 理）

### 序

26 次南極観測隊では、二機の S-310JA 型ロケットにより、オーロラ中の波動、粒子、電磁場の総合的観測が行なわれた。本講演ではロケットに搭載されたオーロラ粒子観測器（ESP）によるオーロラ電子のエネルギースペクトル、ピッチ角分布を中心に報告する。

### 観測の概要

ESP は 1/4 球形静電アナライザにより、ロケット軸から  $30^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $150^\circ$  の視野方向のオーロラ電子のエネルギースペクトルを求めることができる。エネルギー掃引は 0.64 秒間に 50eV から 16keV の範囲を 32 ステップで対数的に掃引する。また、530eV、2.3keV、8.0keV の三つのエネルギーステップについて各 0.64 秒間掃引電圧を固定し、粒子束のゆらぎを観測する。（粒子束ゆらぎの観測については佐川他により報告が行なわれる）。

### S-310JA-11号機観測結果

ロケットは上昇時発光強度 4kr のオーロラアークに入り、APEX 付近でアークから外れた。降下電子のエネルギースペクトルはアークの中心部では 1keV~10keV 近くまで平坦な特性を示すが、アークの周辺部では鋭いピークが形成され、ピークエネルギーはアークの周辺に近づく程、低くなる。（図 1） 下降時ロケットは発光強度 2.5kr のアークの中を磁力線に沿って下降したが、下降中のエネルギースペクトルはほぼ一定で 2~3keV に鋭いピークを示した。オーロラ電子エネルギースペクトルの時間変動が少ない時間帯を選び、2.5 秒毎に得られるエネルギースペクトルを集積すると、オーロラ電子のピッチ角分布が求まる。それによれば、ピッチ角  $0^\circ \sim 90^\circ$  にわたる広い範囲で数 keV のピークが現れている。

### S-310JA-12号機観測結果

ロケットは上昇時発光強度 14kr のオーロラアーク中を磁力線に沿って上昇し、APEX 付近でアークから外れたが、下降時再び磁南東方向に動くオーロラに入り、このオーロラを追うようにロケットは飛翔した。上昇時のアーク中での降下電子のエネルギースペクトルは、ピークをもたず、hard な特性を示したが、アーク周辺部では 4keV 付近にピークが形成された。（図 2） ピッチ角分布はアーク中心部では down ward 成分が優勢ではあるものの、かなり等方的であり、アークの周辺部ではピッチ角  $0^\circ \sim 70^\circ$  以上にわたり 4keV 付近にピークが形成された。下降時のアーク中では電子束の変動が大きく、それに伴いエネルギースペクトルの変化も大きく、電子束が減少する時に明瞭なエネルギーピークが形成される傾向がある。

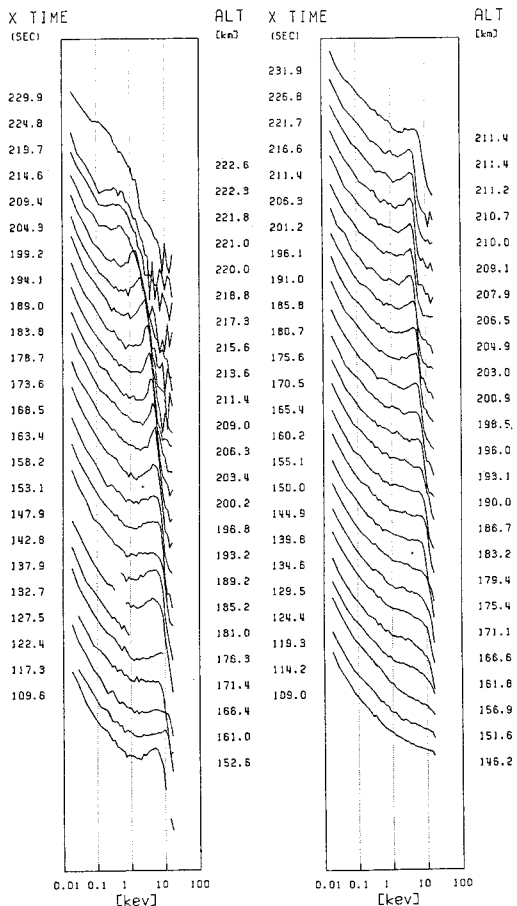


図1 S-310JA-11 上昇時の  
降下電子 エネルギー  
スペクトル

図2 S-310JA-12 上昇時の  
降下電子 エネルギー  
スペクトル

## 南極ロケットによる粒子束変動成分の観測

佐川 永一 (電波研) 山岸 久雄 (極地研) 福西 浩 (東北大理)

向井 利典 (宇宙研) 賀谷 信幸 (神戸大)

第26次南極観測隊によって打ち上げられたS-310-JA/11,12号機に搭載された電子エネルギー分析器は新しい試みとして粒子束の変動成分を広い周波数範囲にわたって観測する機能を持っていた。これまでもフリッカリングオーロラに対応する低い周波数で降下粒子が変調を受けている観測例があるが、今回の観測では観測周波数を MHz帯にまで拡大して極域での波動-粒子相互作用の新しい側面の検証を試みた。

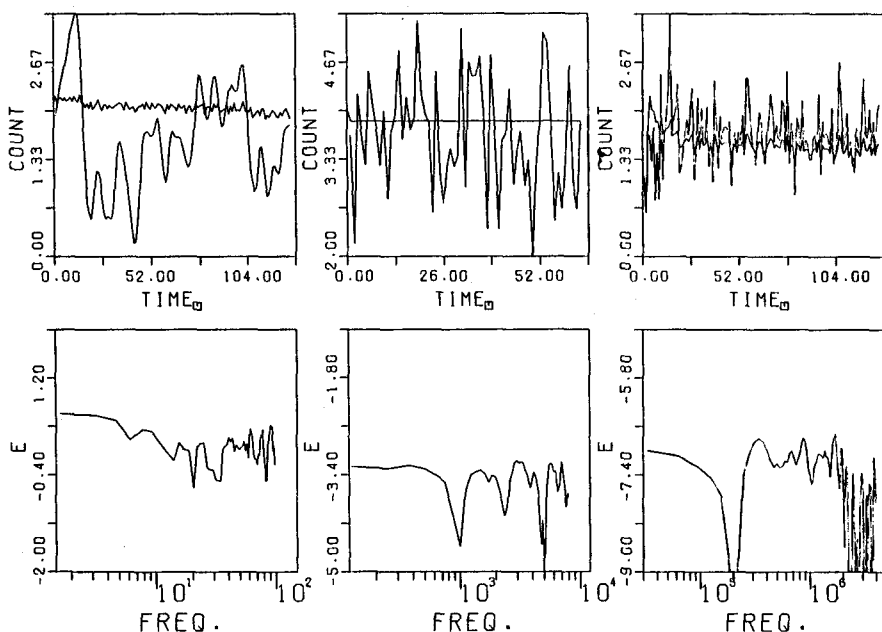
### 1 観測方法

変調成分の観測は1/4球型電子エネルギー分析器の検出器 (CEM) の出力を周波数分析することによる。分析器は0.64秒毎に4種のモードを繰り返すが、一つはエネルギー掃引モードで他は固定エネルギーモードである。変調成分の観測は固定エネルギー時に行われ、観測周波数帯は A. 低周波帯 (1.5~100 Hz), B. 中間周波数帯 (125~8 kHz), C. 高周波帯 (0.03~4 MHz) の三つで、Aの帯域はCEMのカウント値を5 ms 毎に伝送し、地上でFFTによってスペクトラムを計算する。Bの帯域のためには機上で自己相関関数 (ACF) を計算する。62.5  $\mu$ sのゲート時間で計測されたカウント値から

ACF が計算されるが、ハードウェアの簡易化のためにOne bit-Multi bit法を採用した。Cの高周波数帯のためにはBと同じように機上で自己相関関数を計算するハードウェアを採用した。この場合にカウント値は 0.125  $\mu$ sのゲート時間で与えられるが通常のハードウェアでは相関関数を得ることが難しいのでCEMの出力パルスの時間間隔の分布から相関関数を求める方法を用いた。総ラグ数は128であるが、注意すべき点は、この結果得られる相関関数は真の相関関数の変形されたものとなることである。

### 2 観測結果

JA-11号機による観測は正常に行われ、全飛翔期間をとうして観測データが得られた。しかし12号機では電子エネルギー分析器からの3chの出力のうち相関関数を測定するchの信号が出なくなったために~30秒のデータがえられたのみであった。下の図はX+270秒の時点で得られた三つの周波数帯域での観測データとフーリエ変換の結果を示す。エネルギー分析器は2.3 keVの電子を観測しており、ロケット機軸に直交する方向を見ているCEMからの出力が分析されている。





## 観測ロケットS-310JA-11, -12号機による低周波プラズマ波動の観測

森 弘隆, 佐川 永一, 小川 忠孝 (電波研), 小川 俊雄 (高知大)

第26次南極観測隊により発射された観測ロケットS-310JA-11, -12号機には, フラディカップ(PWN, 電波研)とダブルプローブ(AEF, 高知大)が搭載された。フラディカップは, 直径10cm, 厚さ約3cmの円筒形センサーで, 内部は4枚の平面グリッドと1枚の平面コレクターで構成されており, それぞれの電極に適當な固定電圧を加えることにより, (1) DC電子電流, (2) AC電子電流(5~5kHz), (3) 10SeV以上のエネルギーのオーロラ電子電流, と同時に連続的に観測することが出来る。このセンサーは, ロケット先端部中心軸上に電流検出面を前方に向けて取り付けられた。一方, ダブルプローブは, ロケット先端部からロケット軸に直角に, 互いに反対方向に1対の球プローブを展張したものである。球プローブの直径は4cm, プローブ間隔は2.6mである。ダブルプローブは, 高入カインピーダンスで両プローブの浮動電位差を測定することにより, (1) DC電場, (2) AC電場(10~200Hz), の観測を行うことが出来る。両測定器はS-310JA-7号機にも同時に搭載され, 高度200km付近で共にイオンサイクロトロン周波数帯の正弦波状波動を観測し, 低周波波動の有効な観測手段であることが確認された。以下では, 今回の観測結果の概要を述べる。

### S-310JA-11による観測結果

JA-11号機は, 比較的弱いオーロラの発生時に発射された。フラディカップの測定項目のうち, AC電子電流は測定回路の感度が低過ぎたため, 残念ながら波動の観測はできなかったが, DC電子電流とオーロラ電子電流の観測には成功した。200Hz以下の低周波波動に関しては, ダブルプローブにより良好なAC電場観測データが得られた。この結果によると, ロケット上昇時の高度190~200km付近で130~140Hzの正弦波状波動が観測されており, JA-7号機の観測と比

べて注目される。ロケット下降時には, 特に目立った波動は観測されなかった。

昭和基地では, JA-11号機の結果を参考に, JA-12号機搭載用フラディカップの回路に改善が加えられた。

### S-310JA-12による観測結果

JA-12号機は, 強カバオーロラの発生時に発射されたが, フラディカップ, ダブルプローブ共良好な観測データが得られた。

ロケットは上昇時にオーロラ中を通過したためE層の電子密度は非常に高く, 高度94~126kmでフラディカップのDC電流測定は飽和した。電子密度の大振幅のゆらぎがAC電流測定により高度93kmから155kmまで連続的に観測され, その後はバースト状になって高度200km付近まで続いた。このバースト状ゆらぎはロケットスピンの同期して発生しており, ダブルプローブでは観測されていないので, ロケット周囲に局所的に引き起こされた擾乱によるものと思われる。高度220km付近では, フラディカップとダブルプローブによって共に約150Hzの正弦波状波動が観測された。この波動は, 両観測データの相互相関解析によれば左旋円偏波特性を持っており, この特性は, JA-7号機で観測された波動の特性(右旋円偏波)と異っており, 興味深い。

ロケットは下降時にも長時間オーロラ中を通過したため, 高度215kmから140kmにかけて, フラディカップのオーロラ電子電流測定が度々飽和し, これに伴い, DC電流及びDC電場測定にも大きなゆらぎが観測された。この期間, AC電子電流及びAC電場の振幅も増加し, 時々バースト状の大振幅波動が観測された。このように, この期間の観測データはすべて大きな変動をしており, オーロラ中の波動現象に関する新たな知見が得られるものと期待される。本講演では, これらのデータの初期的な解析の結果について報告した。

# S-310-11及び12号機によるオーロラヒス観測

長野 勇、山本英子（金沢大工）、橋本弘蔵、尾崎照幸（東京電機大）  
木村磐根、松尾敏郎（京都大工）、山岸久雄（極地研）、福西浩（東北大理）

**1. 序** S-310-11及び12号機では、オーロラ中の波動、粒子及び電磁場観測が行われた。低周波波動において、0.2 kHzから12.6 kHzまでの電界磁界を32ステップに分けて掃引する受信機によりオーロラに伴う波動を観測した。実験の最終目的はオーロラ中の波動粒子相互作用を明らかにすることであるが、本講演ではS-310-12において観測した電界成分の特徴を指摘し、観測したオーロラヒスの高度分布からオーロラヒスの発生源から地上への伝搬機構についてfull wave計算の立場から報告する。

**2. 観測機器及び観測値** S-310-12号機で、長さ2.4 mのダイポールアンテナで観測した電界及び長さ25 cm、幅6 mm角のパーマロイ（ $\mu_{eff}=400$ ）に3000回巻いたサーチコイルで観測した磁界を図1に示す。各波数間隔の強度範囲は80 dBで、電磁界の0 dBはそれぞれ、 $0.94 \times 10^{-6}$  V/m、 $3.8 \times 10^{-5}$  γである。電界に見られる開頭（↑印）直後までのスパイク状のノイズは、インピーダンス計測用である。又、磁界のほとんどの周波数成分はロケット内の観測器からのEMIであるが、2～3の周波数においてオーロラヒスの磁界成分が観測されている。

**3. オーロラヒスの伝搬機構** 12号機の飛しょう期間で、昭和基地の地上での周波数4 kHzオーロラヒスのボインティング電力は $5 \times 10^{-16}$  W/m<sup>2</sup> Hzであった。一方、ロケット上では、同じ周波数で $9.0 \times 10^{-11}$  W/m<sup>2</sup> Hzであり、地上のそれに比して52 dBも大きな値を示した。同時搭載のインピーダンスプローブ及びDCプローブを使って、ヒスが地上へ降る（kベクトルがトランスミッションゾーン内にある）とした時の減衰量を計算すると、それは-15 dBであった。図3に図1の周波数3.4 kHzの電界強度分布を示す。この図より、ロケット観測したヒスの殆どは電離層を透過できず高度80～90 kmにかけて、強いエバネッセント波となっている。この2つの事実から、ロケットで観測した強い強度のオーロラヒスは地上へ到達する可能性は少ないと考えられる。又、図1に見られるように周波数1～5 kHzで高度80～90 kmに強い波動が観測されている（図3では拡大されている）。今、オーロラヒスは高度220 km以上でレゾナンスコーンに沿って発生したと考えfull wave計算により電界の高度分布を計算したものを同図に実線で示す。kベクトルをSE-NW方向から入射したほうが高度90 km以下でよく観測値とあっている。

**4. まとめ** S-310-12号機で観測したオーロラヒスは高度220 km以上でレゾナンスを満たす条件で発生し、下方へ伝搬した可能性がfull wave計算から確かめられた。

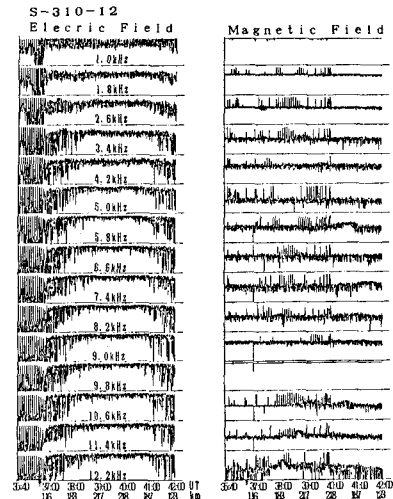


図1. 観測した電界及び磁界成分

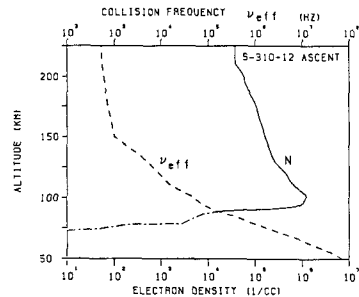


図2. 電子密度分布

S-310-12 3.4 kHz

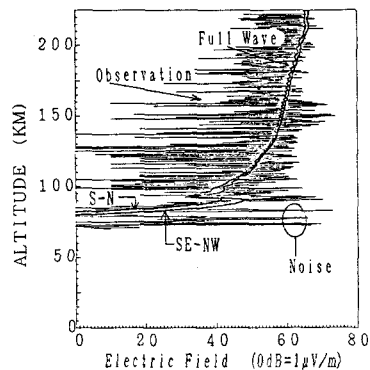


図3. 観測値と計算値との比較：

入射電力  $P_z = 1.4 \times 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>

## 極電離層におけるオーロラプラズマ波動の観測

— S-310JA 11/12 による結果

大冢寛 森岡昭 福西浩 宮岡宏 小野高寿 山岸久雄 小泉隆博  
(東北大理) (極地研) (宇宙研)

[序] オーロラ域の波動粒子相互作用の総合的解明を目的とした南極ロケット実験は第26次南極観測隊により成功裡に行なわれた。本報告では、高周波プラズマ波動の観測結果について述べる。

[観測機器の概要] S-310JA 11及び12号機とも全く同一のプラズマ波動受信機が搭載された。その概要は以下の通りである。

周波数範囲	50 kHz ~ 11.5 MHz
時間分解能	1.28 秒
周波数分解能	10 kHz / 80 kHz
検出成分	電界 1 成分

## [観測結果の概要]

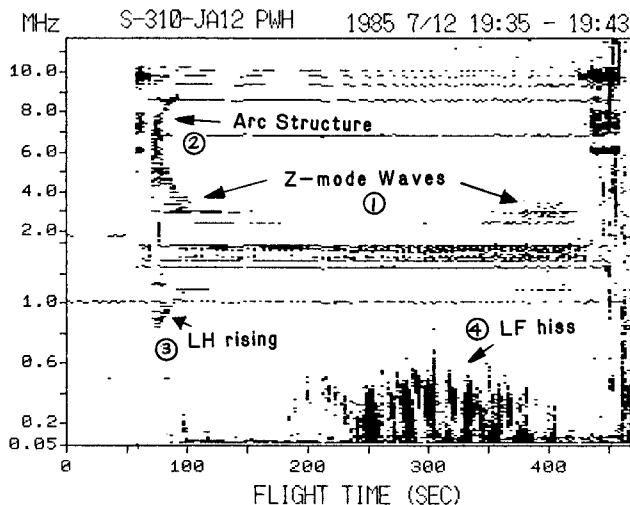
S-310JA 11及び12号機とも機器は正常に動作し、オーロラアークおよびその周辺におけるプラズマ波動を観測した。第1図に12号機によって得られた波動ダイナミックスペクトラムを示す。特徴的な波動を以下に示す。

(1) Zモード波動: local f<sub>UH</sub>及びf<sub>LO</sub>の周波数範囲のZ波がオーロラアークの低緯度側で強い強度をもって観測された。これにより加速域から電離層高度までZモード波は、波動粒子相互作用に重要な役割を果たしていることが示唆される。

(2) Arc Structure: 上記Zモード波とスペクトルがつながる形でアークを形成するスペクトラムが観測された(図中②)。このアークの成因については、自然の emission 及び高いプラズマ密度中での相互干渉の両面から調べていく必要がある。

(3) LF rising tone スペクトラム: アーク構造とほぼ同時に 850 kHz ~ 1 MHz に準調性周波数変化するスペクトラムが観測された(図中③)。これはVLFスペクトラムに見られるLHR放射ともほぼ時刻が一致している点で興味深い。

(4) LF ヒス: ロケットが低緯度側の強いアークに入ると同時に上限の周波数も約 600 kHz とするLFヒスが観測された。このヒスは降下エネルギー粒子の増大とほぼ一致して非常に強いバースト状の放射を伴う。この成分は 150 kHz ~ 500 kHz の帯域をもつ。これは Exos-2 衛星で観測された Leaked AKR との間接的にあいて更に詳細に調べることが必要である。



## S-310JA-12号機で観測された 電流系による磁場変動

遠山文雄, 高橋隆男, 藤井良一, 国分 征, 福西 浩, 山岸久雄  
(東海大・工) (極地研) (東大・理) (東北大・理) (極地研)

第26次南極観測隊により昭和基地で行われたS-310型ロケット実験において, 三成分フラックスゲート型磁力計(MGF)が搭載され, 地球磁場変動の観測が実施された。本観測の目的は沿磁力線電流および電離層電流による磁場の変動を検出し, 同時観測されたオーロラ粒子, 電離層電場および各種プラズマ波動との関係や地上から観測されたオーロラとの関係を明らかにすることである。また, 地磁気を基準としたロケットの姿勢測定(GA)も兼ねている。

実験ではS-310JA-11および12号機を用いて二回行われ, 双方とも良好なデータが得られた。特に今回の実験ではロケット本体や他の観測機器からの干渉磁場を少なくするため, ロケット軸と直角方向にブームを用いて機軸から39.4 cmの距離にセンサを伸展した。この結果, センサ位置での磁気バイアス量はブームを用いない第25次南極観測隊での観測ロケット, S-310JA-8, 9, 10号機に比べて大幅に軽減され(磁気バイアス量は全磁力にして20,000~80,000 nTあった)その量は全磁力にして約400~800 nTであった。

S-310JA-11号機(1985年5月29日00時59分打ち上げ)の飛行中, 地上の地磁気変動は約30 nTの擾乱が続いていたがロケットのMGFデータは比較的静穏であった。S-310JA-12号機(1985年7月12日19時35分打ち上げ)は地上で約-500 nTのスブストーム中の飛行であり, 発射後270~380秒に大きな磁気変動が検出された。今回は特に12号機で観測された電流系による磁場変動について述べる。

表1は搭載した磁力計の仕様を示す。ロケット軸に直角な成分磁場の観測値からコーニングによる姿勢変化分を差引き, さらにスピン軸ずれに対する補正を行ったものを図1(a)に示す。図1(b), (c)には時間軸と同じにした同時搭載のオーロラ粒子(ESP)と電場(AEF)の結果を並べた。

発射後275秒以降はオーロラ電流系によると思われる磁場の大きな変動と良い対応を示している。

表 1

MGF: MEASUREMENT OF GEOMAGNETIC FIELD

Magnetometer	3-axial Fluxgate with ring core sensors		
Output Format	digital 16 bits / axis		
Dynamical Range	$\pm 60,000$ nT		
Resolution	1.8 nT / bit		
Sampling Period	10 msec / vector		
Size and Weight	Electronics : 50 x 150 x 170	1.1 Kg	
	Sensor / Boom : 50 x 55 x 170 / 394	1.6 Kg	

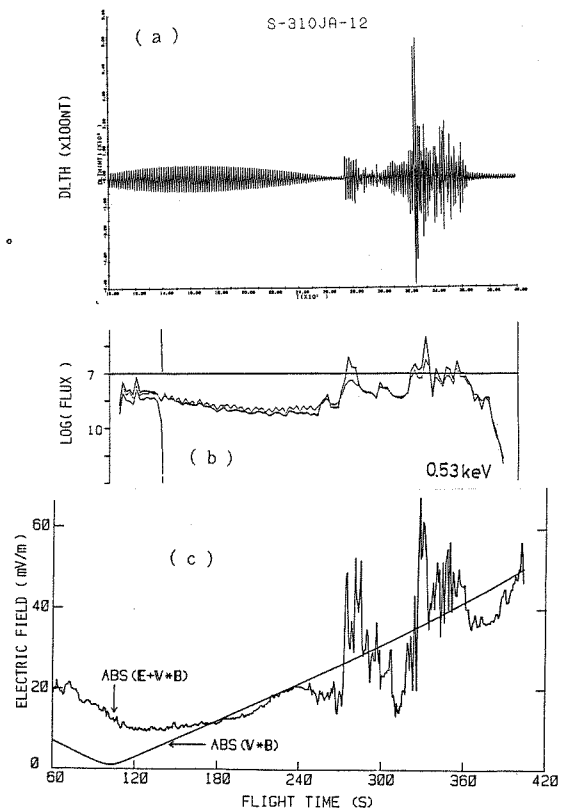


図 1

# ロケット観測におけるオーロラヒスの wave normal angle の測定法.

西野 正徳, 田中 義人  
(名古屋大学 空電研究所)

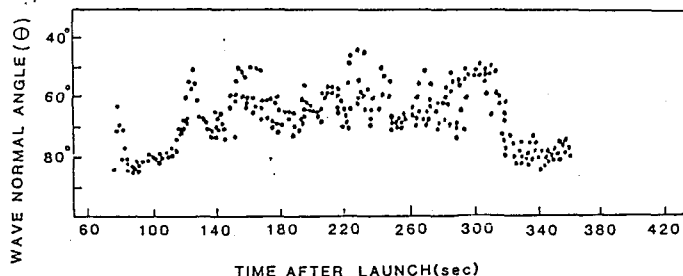
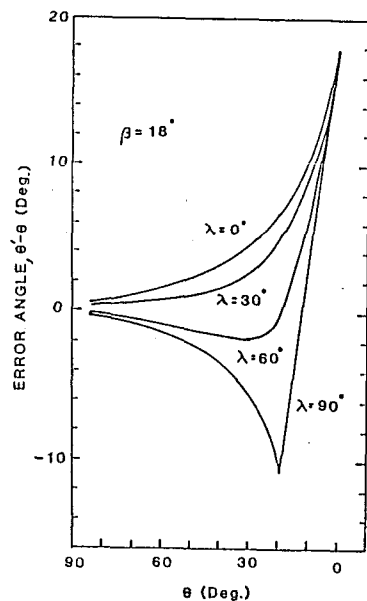
ロケットによる極域電離層内の VLF 波の観測において、波の wave normal angle の測定は、 $\chi$  の発生、伝搬機構を解明する上に重要である。従来、wave normal angle の測定は、ループアンテナに誘起された信号のスピノモジュレーションからロケットを基準にした座標系における cone angle を求め ( $\cos \phi = V_{\min}/V_{\max}$ )、ロケット姿勢データで換算する方法が簡易であり、有用であった (Cartwright, 1964)。しかし、一般にロケット搭載機器用のスペースは広くなく、ループアンテナの大きさは制限されるため、誘起された信号の S/N が小さくなり、その結果、測定された  $\phi$  の誤差は 20~30 度にも及ぶと推測される。

木村、松尾 (1982) は、ダイポールアンテナから得られた出力のスピノモジュレーションのパターンの観測値と計算値の比較から wave normal の方向を求めた。この方法では、方向が 3 次元的に決められる利点はあるが、パターンの比較、同定に信頼性が少ないと思しめる。

我々の提案する測定法は、原理的には、木村等と同じくダイポールアンテナ出力のスピノモジュレーションから求める方法である。もし、ロケットの飛行方向が磁力線方向と一致すれば、Q 点近辺の本イッスラ波に対して、アンテナ出力のスピノモジュレーションから、磁力線に対する wave normal angle  $\theta$  が一義的に決められる ( $\cos \theta = V_{\min}/V_{\max}$ )。ロケット飛行方向が磁力線方向から離れても、 $\chi$  の deviation ( $\beta$ ) が小さければ、誤差角  $\Delta\theta$  は、 $\theta$  の大きい範囲では数度以内になり、 $\theta$  の小さい範囲でも最大  $\beta$  を越えない (図 1)。通常、ダイポールアンテナの出力信号の S/N はループアンテナのそれより十分高いので、ロケットを磁力線方向に発射可能な南極ロケットでは、この測定法を積極的に適用する方がよいと考えられる。図 2 は S-310JA-6 号機で観測したオーロラ LHR ヒスの本測定法によるデータを示す (Nishino and Tanaka, 1986)。本講演では、アンテナ出力信号の S/N 及び deviation angle に関して本測定法の有効性を検討する。

## 参考文献

- Cartwright, D.G. (1964),  
P.S.S. 12, 751.
- Kimura and Matsuo (1982)  
Memo, NIPR 22 185.
- Nishino and Tanaka (1986)  
P.S.S. in press.



## 指紋型 Pc1 脈動の特徴

佐藤夏雄（極地研）、平澤威男（極地研）、南部充宏（九州大教養）

高速・高分解能 FFT スペクトル解析装置を用いて、PC1 波動を解析したところ、指紋状（fingerprint）Pc1脈動が f-t スペクトル上で見つかった。Syowa基地とその共役点のアイスランド Husafell における 1984 年 1 年間分データを解析することにより、以下の特徴が明らかになった。

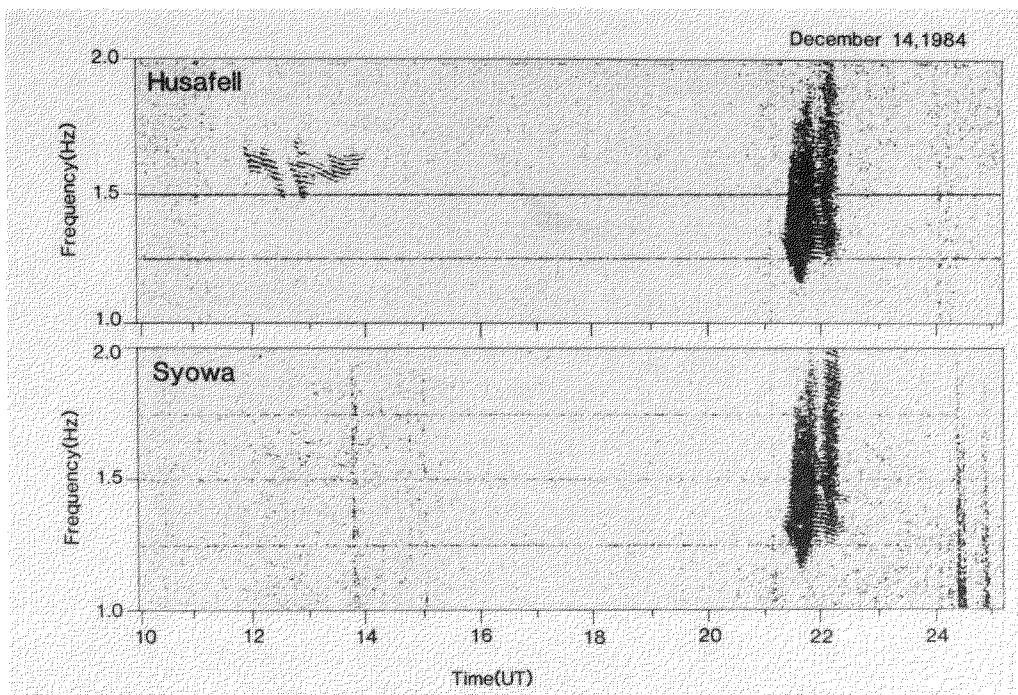
### 1. 微細構造の特徴

このエミッションは f-t スペクトル上で、数多くの狭帯域（ $\sim 10\text{mHz}$ ）線状スペクトルから構成されている。線状スペクトル本数は 25 本以上に達することもある。隣接する線状スペクトルの周波数差は  $\sim 15 - 50\text{mHz}$  である。これらの線状スペクトルの周波数は一般に時間とともに変化し、f-t スペクトル上で rising-tone, falling-tone, wavy-tone の形をしている。

### 2. 統計的特性

- i）共役点データを用いて統計的に解析すると、非共役性現象に関しては、冬半球側の観測点で発生頻度が大きい。また、春・秋分時に共役性のある現象が多く観測される。
- ii）中心周波数に関して、共役性現象は  $1.5 - 1.75\text{Hz}$  であるが、Husafell のみで観測される現象は  $1.75 - 2.0\text{Hz}$  と少し高周波数になっている。
- iii）発生時刻（MLT）依存性に関して、共役性現象は朝と夜間で、Husafell のみの非共役性現象は早朝で主に観測される。

講演では、指紋型Pc 1 脈動の波形について詳しく解析した結果とその共役性について報告する。



# 指数型 PC1 脈動の理論的解

菊部充宏(九大教養), 佐藤夏雄(極地研), 平澤成男(極地研)

## 1. 序

前の講演で示された様に PC1 脈動が指数型構造を有する場合がある。観測から構造は赤道面上で発生している事が示されている。この微細構造を説明するモデルとしては二つの可能性が考えられる。

オ一は PC1 が  $\omega = 1.35$  Hz のコヒーレントな波とし、同時に発生域(赤道面)で  $\Omega = 16$  mHz のコヒーレント PC4 脈動が大振幅波として存在していたとする。この時、 $\omega \pm \Omega$  でサイドバンド波が発生し、このサイドバンド波と  $\Omega$  が相互作用して  $\omega \pm 2\Omega$  を生ずる。以下、この相互作用を通して順次  $\omega \pm m\Omega$  ( $m=1, 2, \dots$ ) の高調波を生じていると考える。この可能性は、しかしながら、データで否定されている。

オニは PC1 の発生機構そのものに着目するもので以下で簡単に述べる。

## 2. モデル方程式

PC1 脈動は 100 keV proton と表の共鳴的相互作用により発生する。以下で PC1 の規格化されたエネルギーを  $X$ , proton の強度(規格化された)を  $Y$  とする。上記の相互作用を示すモデル方程式は

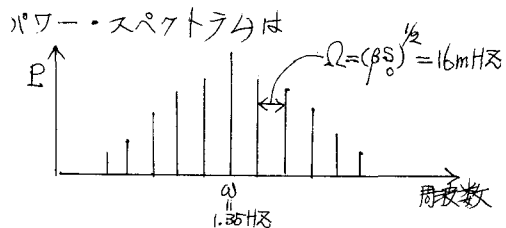
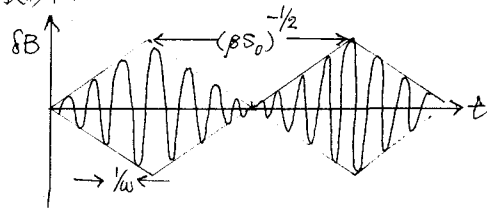
$$\dot{X} = -\alpha X + \beta XY, \quad (1)$$

$$\dot{Y} = S(t) - \gamma XY \quad (2)$$

とかける。ここで  $\dot{\phantom{x}}$  は時間微分を示す。(1)の右辺一項目は PC1 の減衰(例えば電子とのバウンス・レゾナンスや不均一効果)を示し、二項目は成長率を示す。(2)の右辺

一項目は radial diffusion 等による source を示し、二項目は、表による散乱の損失を示す。(1), (2)式は  $S(t)$  の形により種々の解が存在する。

まず  $S(t) = S_0 = \text{一定}$  の場合に考察する。 $\alpha, \beta, S_0$  に  $\alpha > \sqrt{\beta S_0}$  の関係がある場合にはモデル方程式は緩和振動を示す。その周期は  $\sqrt{\beta S_0}$  で与えられる。この場合の波形は



実際のパワー・スペクトラムはもっと複雑であるが、時系列が上図よりも複雑である事の反映である。

## 3. カオス解 [ $S(t) \neq \text{一定}$ ]

proton のソースが時間的に変動する場合には(1), (2)はカオス解を有する事が知られている。(M. Nambu, Space Sci. Rev., in press). この場合、 $S(t)$  の周期的変動の周期が  $\Omega = (\beta S_0)^{1/2}$  である。従って radial diffusion による proton の injection が周期一分程度のゆっくりとした変動を行っている場合に対応する。これらを含めた詳細は講演時によする。

# 磁気嵐に伴う $pc1$ および $pc2$ 地磁気脈動について

加藤 愛雄 利根川 豊  
東北大学名誉教授 東海大学航空宇宙学科

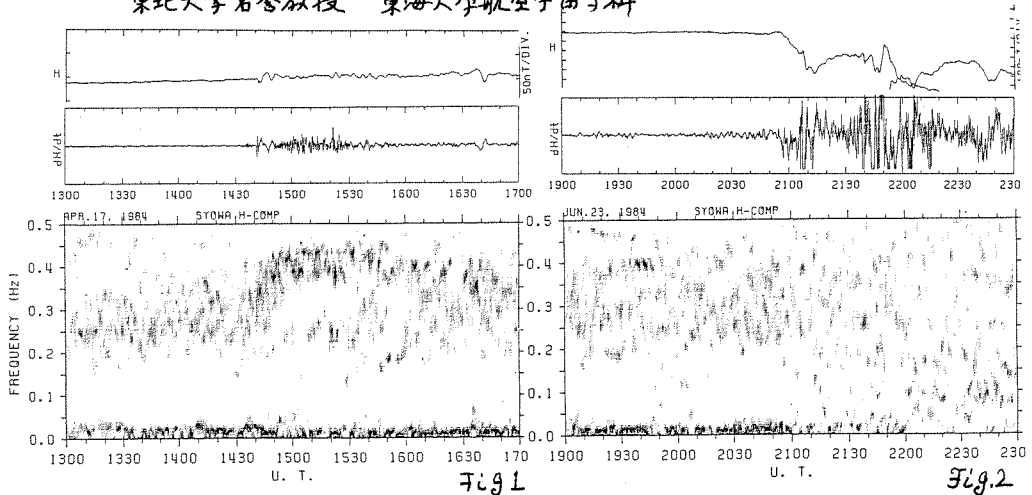


Fig. 1

Fig. 2

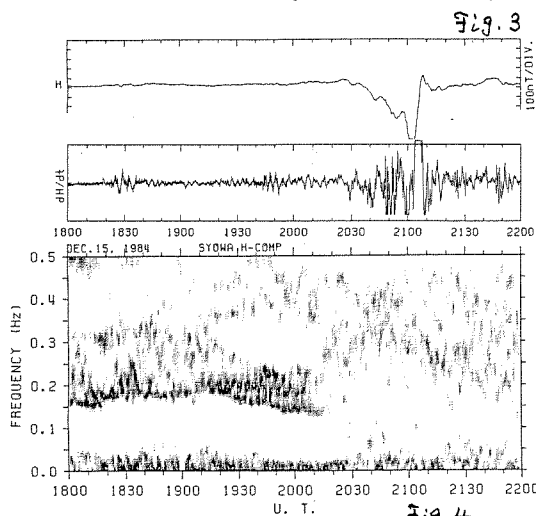
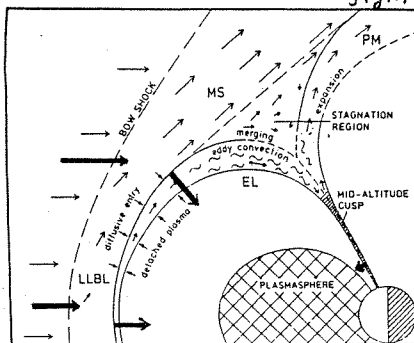


Fig. 3

Fig. 4



磁気嵐に伴って、 $0.1\text{ Hz}$ 以上の短周期脈動が現われることは既に多くの人がよって研究され報告されている。

平沢威男教授はこの短周期脈動が  $ASC$  および  $SLC$  によって周波数の急激な変化が生ずることを、数多くの昭和基地での観測記録の  $f-t$  diagram とよって明らかにしこれが  $ASC$  或は  $SLC$  に伴う磁気圏の Compression および expansion に起因すること五述べている。

著者等は同じ問題を昭和基地での記録の dynamic spectrum とよって調査した。

つた  $pc1$  の、  
Fig. 1 は昼間の磁気嵐に伴う 1 例で ( $ASC$  は  $14^h 41^m$ ) Fig. 2 は夜間に起った磁気嵐 ( $ASC$  は  $20^h 48^m$ ) と伴った  $pc1$  の 1 例で何れも例外なしに観測された。

\*  
HM cho. の此らの原因について昼間では Low- $\nu$  の Latitude Boundary Layer が磁気嵐の時 Compression によりその基部が昭和基地を横切る可能性があり、Layer 内で発生した ion-cyclotron wave と直接観測する可能性があり、夜間では磁気圏尾部での磁気擾乱によつて生じた patch 状の  $pc1$  (ion-cyclotron wave) を観測して得るものと思われる。Fig. 3 は\*



## 低高度衛星で観測されるU L F波動と 沿磁力線電流微細構造

家森俊彦 (京大・理)

MAGSAT等の低高度衛星による極域の磁場観測では、一般的に沿磁力線電流の空間的構造による変動が波動による変動に比べて大きく、波動による変動を沿磁力線電流による変動と区別することは難しい。しかし、より高高度の衛星(例えばDE-1)や地上で数nT以上の振幅の波動が観測される以上当然同程度の波動が低高度においても存在するはずで、精度0.5nTのMAGSAT衛星による磁場データにも当然含まれているはずである。ここではMAGSATの高時間分解能データのスペクトル解析を行い、統計的に処理した結果、波動成分がある程度存在することを確認したので、その結果を報告する。

図1は、AL指数が-100nT以上、図2は、-100nT以下の場合のそれぞれ図に示した2つの周波数領域で、磁場のX及びY成分間の位相差を平均したもので、平均値が正の領域と負の領域を別々に示したものである。いちばん下には比較のため、同じ周波数領域でのパワーの分布を示してある。沿磁力線電流による変化の場合には、シート状か線条電流のいずれかにかかわらず、平均値はゼロ近傍になるはずであるが、図の結果は特徴的な場所でR(右偏波)又はL(左偏波)を示している。沿磁力線電流による変動の大きいところではゼロに近いが、これは必ずしも偏波成分が存在しないことを意味しない。

講演では沿磁力線電流の微細構造と波動成分(時間変化成分)の関係について議論する。

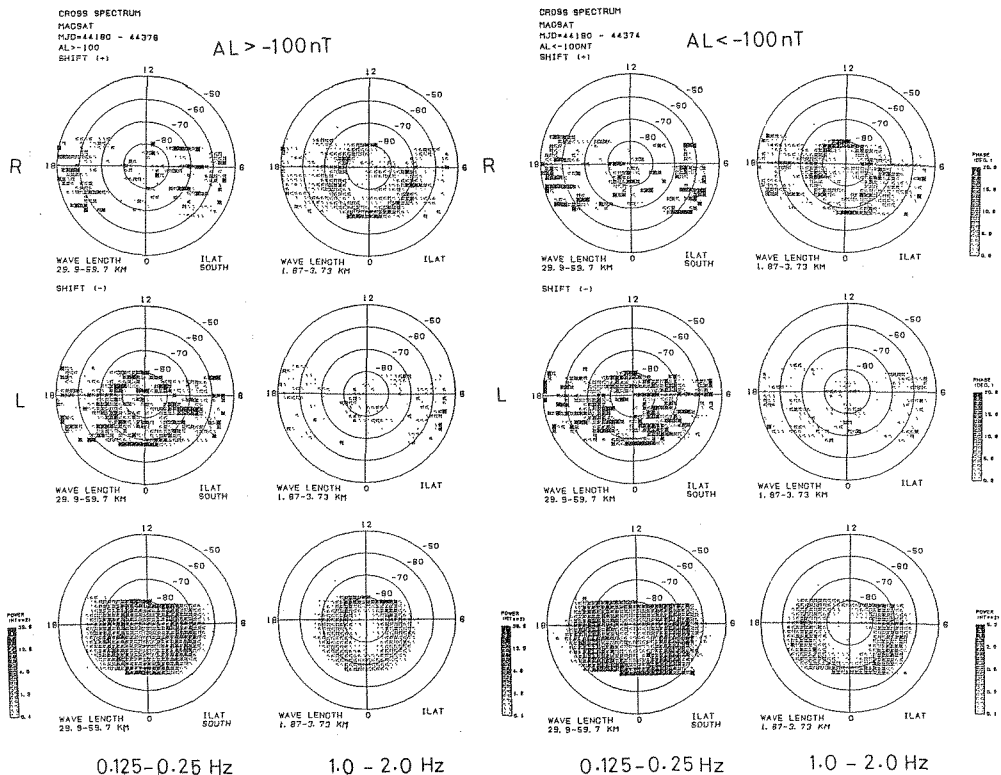


図 1

図 2

## 低緯度Pc3脈動の電離層等価電流系

坂 翁 介 (九大理工)

AFGL Magnetometer Network データを使い  $L=3.2 \sim L=1.7$  (経度差4時間) での Pc3 脈動の電離層等価電流系を導くことが目的である。統計的な処理はおこなわず11の事例について調べる。現段階では電流系導出までは至っていないが、以下の興味ある事実が判明した。1980年6月7日の例について説明する。

図1, 図2に経度  $300^\circ\text{E}$  と  $345^\circ\text{E}$  にならんだ2つの観測点, Newport ( $L=3.2$ ) と Lompoc ( $L=1.7$ ) 及び Mt. Clemens ( $L=3.2$ ) と Tampa ( $L=1.7$ ) の H 成分のパワースペクトルを示す。Pc3 の活動の時間的变化にともない  $\alpha$  を  $A, B, C, D, E, F$  と名づけ四角で囲んだ。上限周期は25秒, 下限周期は10秒である。目的とする Pc3 脈動が低緯度側, 高緯度側 どちらに明瞭に出現していることがわかる。位相解析と合わせ次のことがわかった。

(1) 位相の東西, 南北への伝ぱんは存在するが活動域は移動することなく領域でいつせりに出現, 消滅する。

(2) 1つの周期に注目した場合でも, 波の活動領域は東西に長く南北に圧縮されているわけではなく, 東西よりもむしろ南北に伸びている場合がある。

(3) 東西の位相の伝ぱんは H 成分と D 成分で必ずしも一致しない。H 成分のみを注目の場合位相ベクトルがある1点に集中している場合が多い。

(4) 南北の位相伝ぱんは例外なく南より北へ向う。

このような事実からみて等価電流系は閉じた電流系のみで書くことは困難であると考えられる。これは磁気圏電流系が必ずしもしゃへいせん律なりことを示唆するのであろう。

図1

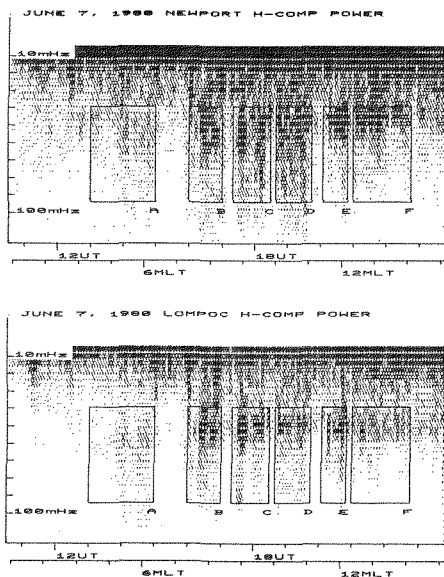
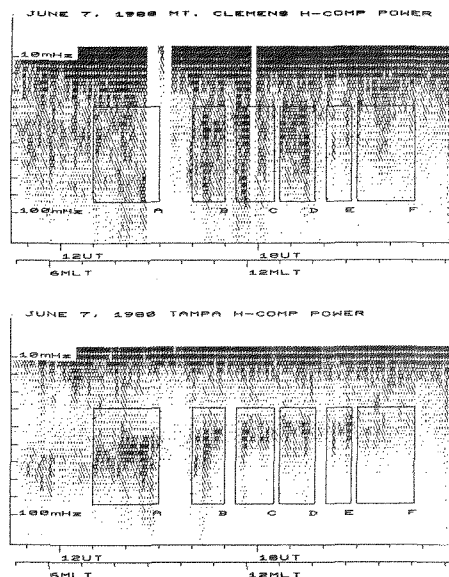


図2



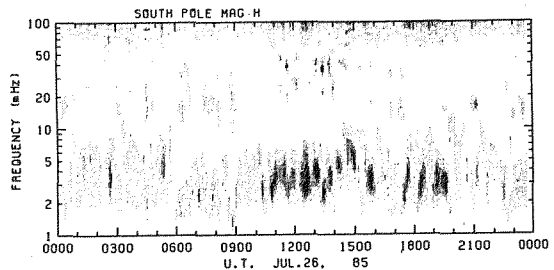
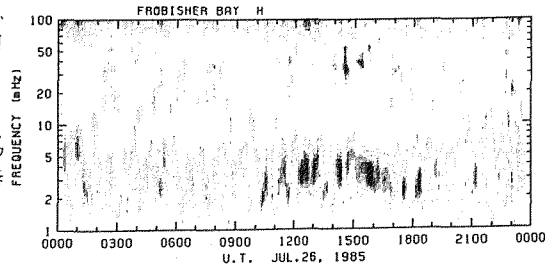
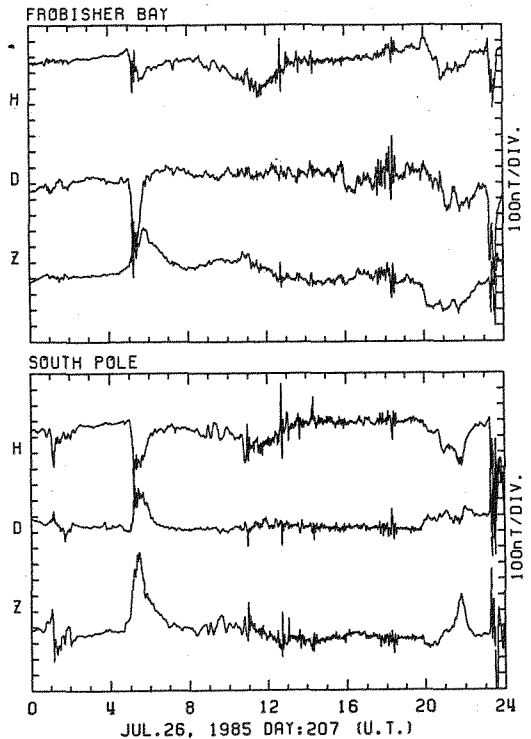
# カスプ領域とオーロラ帯同時共役点観測による長周期脈動の特性

利根川 豊・福西 浩・佐藤夏雄・L.J. Lanzerotti  
(東海大工) (東北大理) (極地研) (AT&T Bell Labs.)

これまでカスプ領域での観測によるULF脈動の研究は、その重要性にもかかわらず、地理的困難さなどでその数は他領域に比べ非常に少なかったが、最近の衛星観測と合せ、カスプ領域や polar cap での地上観測の意義が再認識され、これらの領域での脈動観測の解析結果も報告されつつある (eg. Engebretson et al., 1986, Walker et al., 1986, Olson, 1986). 特にカスプ領域での ULF 観測では、Pc5 帯の波と flux transfer event and/or magnetopause での K-H 不安定との関係、Pc3 帯では Up stream wave のカスプへの直接侵入に注目した解析が行なわれている。これらは ULF 波動のエネルギー流入過程の解明に重要であるが結論は出ていない。さらに、カスプとその低緯度側のオーロラ帯の脈動との関係はほとんど手がついていない。

我々は South Pole と Frobisher Bay の南北両カスプ領域共役点での磁場観測データ (1985 年 7 月 ~ 8 月) を用い Pc3-5 脈動のスペクトル解析を行った。その結果は前回の学会で報告した。今回は同期間に昭和基地とアイランドのオーロラ帯での共役点観測の記録との比較を行ないその結果を報告する。2つの共役点 Pairs は MLT が約 4 時間離れているが同期間の約 1 ヶ月分の解析結果より、統計的にカスプとオーロラ帯の脈動の関係が得られる。特にカスプ帯特有の日中のスパイク状の磁場変動と両領域の Pc5 との関係、Pc3 の偏波特性、共役性のちがいに注目して解析する。

右図 南北両カスプ領域での共役点観測例  
MLT = UT - 4 hours. この例では ~1230 UT にカスプ特有のスパイク的な磁場変動が見られ、下のタイミックスパクトルにはその前後で Pc5 帯の脈動が見える。一帯 Pc3 帯の脈動は短い継続時間での断片的に表われており、この例では共役性が良くないのが示されている。



# Out-of-Focus of Auroral X-ray Images at Balloon Altitudes

小玉正弘(山梨医大), 小倉 純一(日大生産工学)

It is well known that measurements of the Bremsstrahlung X-rays generated in association with precipitation of auroral particles deep into the atmosphere provide an important knowledge on the energy spectrum and spatial region of precipitation particles(eg., Brown, 1966). Recently, a particular interest is paid on global coverage of precipitation region directly deduced from rocket or satellite measurements of X-rays(Kodama and Oguti, 1976; Mizera et al., 1978; Goldberg et al., 1985; Imhof et al., 1980; 1985). Since the average energy of the parent electrons of X-rays is usually higher than that of particles by which aurorae are caused, auroral X-ray images are highly evaluated to establish a comprehensive precipitation mechanism over the wide energy range from the order of eV to the order of a few hundred MeV.

While, balloon measurements of X-rays supplies an attractive means for exploring fine structure of an X-ray image, though the image is usually limited to a specified local region(Parks, 1967; Yamagami et al., 1978; Mauk et al., 1981; Hirasima et al., 1986). However, an inherent disadvantage is always unavoidable for X-ray image forming. That is a certain degree of out-of-focus of the image pattern due to atmospheric multiple scattering through the X-ray penetration onto the balloon altitudes. In order to examine propagation behavior of X-rays through the deep atmosphere, several works based on analytical and simulation calculations have been carried out so far. However, they all were mainly concerned with the effects of atmospheric scattering and absorption on energy spectra observed at balloon altitudes (Pilkington, 1970; Pilkington and Anger, 1971; Berger and Seltzer, 1972; Ogura and Kodama, 1980). But little investigation has been found of any spatial dispersion of a photon from its initial direction.

Diffusion characteristics of auroral X-rays propagating through the atmosphere has been examined by means of a Monte Carlo simulation for the aim of conversion of auroral X-ray images observed at balloon altitudes into those at the top of atmosphere. Simulation calculations at the five different atmospheric depths between 6 and 14 g/cm with 2 g/cm step were carried out for four different spectral functions of photon: a) Mono-energy parallel beam, b) mono-energy isotropic, c) exponential and d) power-law type energy spectra. The energy range investigated is taken from 40 KeV to 200 KeV by step of 20 KeV. It is shown that the out-of-focus of an X-ray image in air is enhanced with increasing energy and zenith angle of an incident photon but that it has not so much perturbation against the atmospheric depth and the source function. As an example, the degree of out-of-focus of a selected image pattern "A" is demonstrated as a function of atmospheric depth.

## 南極域におけるオーロラX線空間分布の観測 (第26次南極観測隊大気球実験)

鈴木裕武, 平島 洋, 村上浩之(立教大), 山岸久雄, 佐藤夏雄(極地研),  
小島年春(電通大), 山上隆正(宇宙研), 小玉正弘(山梨医大), 福西 浩(東北大)

第26次南極観測隊による大気球実験の1つとして3管式X線センサーによるオーロラX線の空間分布観測が行われた。今回の講演では3機の3管式X線センサー搭載気球のうち1985年12月13日に放球されたB15-3により得られたオーロラX線データの解析結果について報告する。

3管式X線センサーは、指向性をもたせたNaI(Tl)シンチレーションカウンターを等間隔で配置し、装置全体を一定周期(〜80秒)で回転させオーロラX線の空間分布を観測する方式になっている。各センサーの視野方向天頂角は17.5°、角分解能は35°(オーロラX線発生層での視野: 50km)であり、装置全体の全視野角は70°(同: 100km)である。エネルギーは、22-35(keV), 35-55(keV), 55-88(keV), >88(keV)の4チャンネルに分けられている。

気球発翔中、12月13日2315(UT)頃400(nT)(H成分)の、また、12月14日0145(UT)と0200(UT)に200(nT)の擾乱が発生し、それらに伴ないオーロラX線計数値の増加と(地上観測による)CNAの増加とが観測された。3回の主要なX線イベントのうち12月14日0145〜0200(UT)にかけての2回のイベントのX線計数値時間変化を図.1に示した。

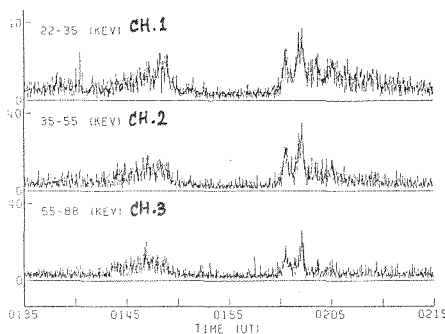


図.1

CH.1  
CH.2  
CH.3

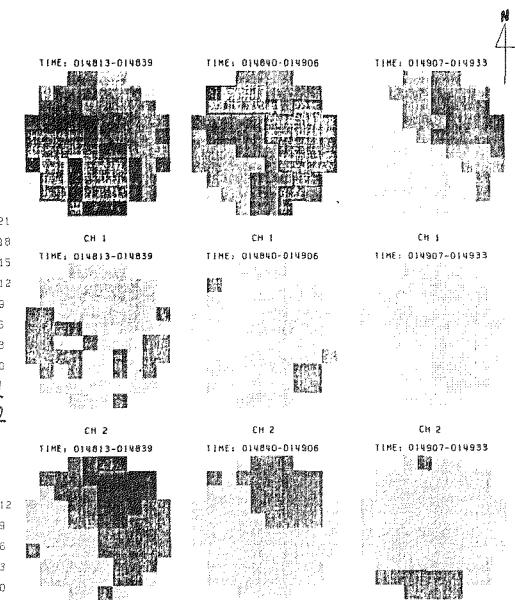


図.2

## オーロラX線の空間分布とPulsative Fluctuation

小玉正弘(山梨医大), 平島 洋, 村上浩之, 奥平清昭, 鈴木裕武(立教大), 山上隆正  
太田茂雄, 並木道義, 西村 純(宇宙研), 宮岡 宏, 佐藤夏雄, 藤井良一(極地研)

1985年 7月, 日本-Sweden国際協同観測として実施されたAZCO(Auroral Zone Conjugate Observation)キャンペーンの1つ, AZCO-C1 気球によるオーロラX線観測のデータ解析結果について報告する。

搭載機器は指向性型NaI(Tl) カウンターを3本組合せた一般的なもので, 装置全体を一定周期(〜45秒)で回転させ全天をscanする方式である。測定エネルギーは次の4チャンネル: 22-35KeV, 35-55KeV, 55-88KeV, >88KeV。約49時間に及ぶ水平飛行で, 気球位置のL値は〜4.5 から〜7.3 まで変化し, 途中14°Wあたりで昭和基地の共役点近くを通過した。この間の地磁気活動は図1の記録に見るようにそれほど活発ではないが, フライトの後半には若干の擾乱が見られる。これに対するX線変動もあまり大きくなく, バックグラウンドの数倍程度の増加を2回記録したのみに止まった。ここでは比較的S/N 比のよい 7月 4日14時前後の観測から得られたX線像と脈動の特性について述べる。

### 1) X線像について

今回のように装置の分解能が天頂方向にはゼロ, 水平方向には120°でかつS/N 比が〜3以下の場合は一義的には空間分布は求められない。そこで, 1回転(45秒)の間はX線像に急激な変化はないと仮定して次のような統計的処理を行った。当然, 再生像は実像よりはボケてくる筈なので, あらかじめ一種のsimulationによってその程度を推定してみた。先ず検出器の全視野(天頂から35度)を20×20のメッシュに分割し, 各カウンターの1秒値をそれぞれの視野内のメッシュに均等に割当てて。次に, 次の1秒値を回転によって若干ずれた視野内のメッシュに同じように割当てて。同様の操作を1周期つまり45回繰返したのち各メッシュごとに集計し, 適当な基準化を行うと計数の分布図が得られる。S/N 比の大きさ, 水平角度で与えた像の大きさを変えて, 像の再生度およびそのボケ具合を求めた。S/N 比が大き過ぎると再生像はボケてくる。図2は観測データについての解析結果の一部で, 2つの異なる低エネルギー帯ではほぼ同じように, 1回転ごとにX線強度分布が変化していくのが見える。しかし88KeV 以上では一様分布となる。

### 2) Pulsative fluctuation について

図1のULF 脈動出現の期間に対応して, X線にも類似のpulsative な変動が観測された。auto-correlation 解析の結果, 周期10秒前後の脈動の存在が確認された。ULF との間に1対1の対応があるか, 他の時間帯ではどうか, 共役性はどうかについても調べる予定である。

図 1

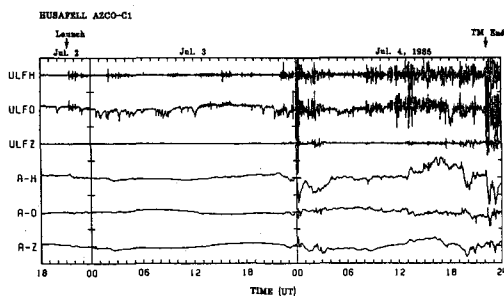
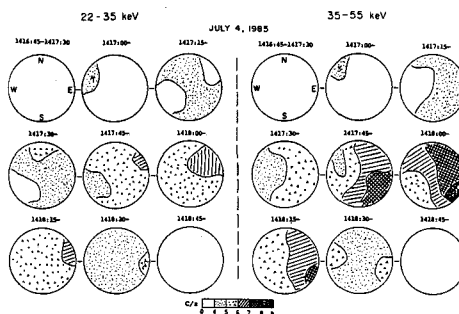


図 2



# AZCO85実験で観測されたX線脈動と関連地上現象

小島年春(電通大)、山岸久雄・佐藤夏雄・宮岡 宏(極地研)、S.Ullaland(ベルゲン大)、芳野超夫(電通大)

## 1. はじめに

1985年7月に、日本とノルウェー、デンマーク、アイスランド共同の大気球実験(AZCO計画)が行なわれた。この実験で、ノルウェーが観測器を用意したAZCO EXW-1は、7月4日21UTにアベルパー(ノルウェー)より放球された。この気球に搭載されたX線観測器により、7月6日06~14UTに、降下粒子現象に起因する制動輻射X線の顕著な計数値の増加が観測された。この時、気球はアイスランド上空を飛翔中であつた(図1)ため、アイスランドの3地点(Husafelli, Isafjördur, Tjörnes)及び南半球の共役点である南極昭和基地での地上観測データ(主にVLF波動及びCNA)とX線現象との比較を行なった。

## 2. 地上データとX線現象の比較結果

観測されたX線現象は様々な周期の不規則脈動を含んでおり、その卓越周期により異なる特徴を有している。また、このX線脈動にはエネルギー依存性が認められない。

### ①VLF波動との比較

(1)卓越周期 5~10秒 : 0730UTより、Husafelliでの2kHz帯のコラス放射強度が上昇し、このコラスと相関のよいX線バーストが確認された。図2は、この様相を示したものであり、上段がX線の計数値、中段がVLFの放射強度を示している。下段は両者の相互相関係数の時間変化を示した図で、縦軸にラグ、横軸に時間を取り、相関係数の大小を濃淡で表示したものである。相関係数は、観測点の位置とVLF放射の周波数により異なり、Husafelliの2kHzが最も相関がよく、以下、Tjörnes(2kHz)、Isafjördur(2kHz)、昭和基地(1.2kHz)の順に低下する。昭和基地の2kHzのVLF放射との相関係数は概して低い。

(2)卓越周期 15~20秒 : 1000~1020UTに、X線脈動との相関のよい周期約20秒のQP放射が、アイスランドの3地点で2kHz、昭和基地では750Hz及び1.2kHzにおいて確認されている。また、1220~1240UTに各観測点にて750HzでX線と相関のよいQP放射(周期約16秒)が見い出されている。なお、この2つの現象とも各観測点における相関係数は同程度である。

### ②CNA脈動との比較

X線脈動の卓越周期を便宜上 ~30秒、30~60秒、60~180秒に区分し、それぞれについて、06~14UTにわたり各観測点のCNA脈動との相関を調べた結果を右の表に示す。

卓越周期(秒)	~30	30~60	60~180
Husafelli	よい	よい	よい
Isafjördur	わるい	わるい	よい
Tjörnes	わるい	よい	よい
昭和基地	よい	よい	よい

## 3. まとめ

①X線脈動とVLF放射 X線脈動と相関のよいVLF波動の周波数が南北半球間で異なる場合がある。これはX線脈動にはエネルギー依存性がないことを考慮すると、磁気圏内ではVLF波動が数100Hz~2kHzにわたり発生したが、磁気圏内のVLF波動の伝播特性に南北非対称性があるために、北半球では2kHz、南半球では1.2kHzのVLF放射が選択的に観測されたものと考えられる。また、周期10秒のコラスバーストと、周期20秒のQP放射との相関を比較すると、前者のほうが相関のよい領域の拡がりが多い。

②X線脈動とCNA脈動 X線現象発生中の気球と各観測点との距離は、およそ Husafelli, Tjörnes, Isafjördurの順に遠くなっている。従って、上の表の内容にこのことを併せて考慮すれば、卓越周期が短い脈動ほど、相関のよい領域の拡がりはいささか小さい。

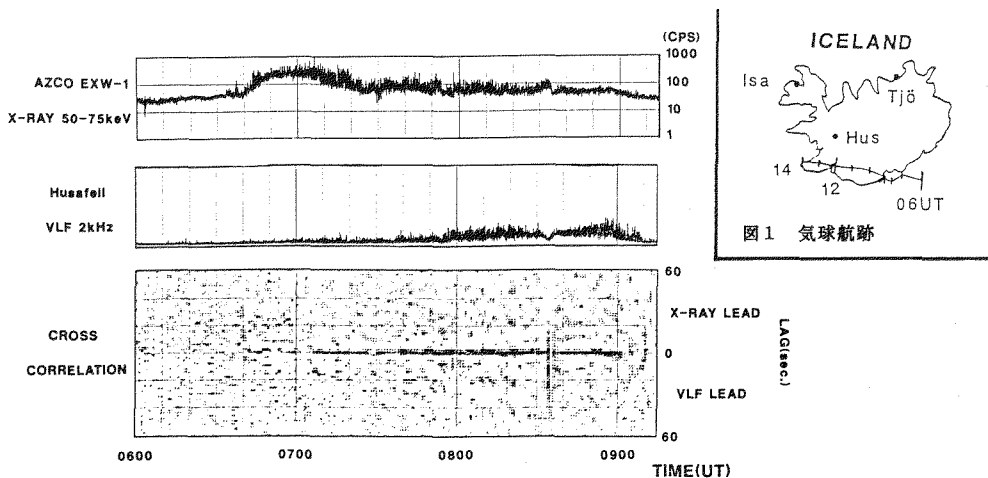


図2

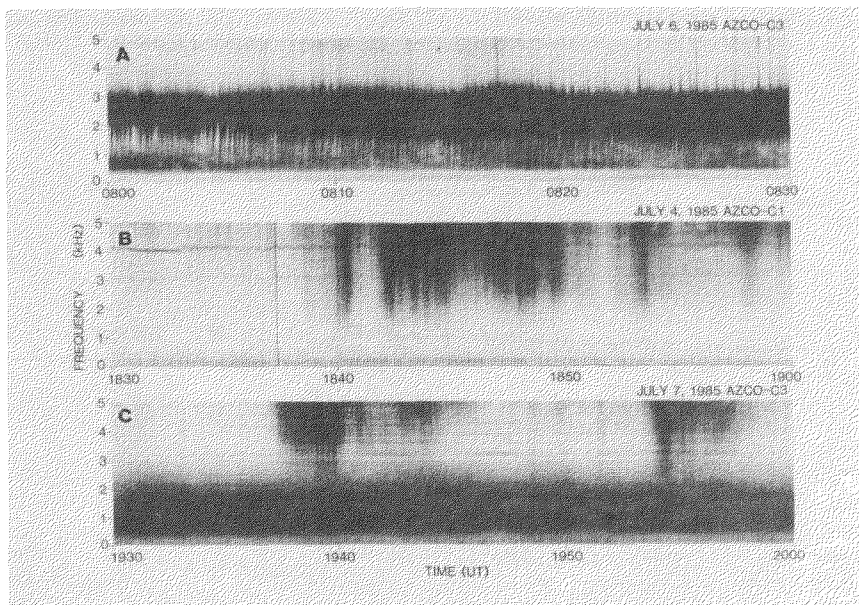
## 大気球、地上共役点・多点で 同時に観測されたVLF放射

佐藤夏雄、宮岡宏（極地研）、太田茂雄（宇宙研）、巻田和男（拓殖大）、  
藤井良一（極地研）、S. Ullaland（ベルゲン大）、A. Egeland（オスロ大）

1985年7月に日本・ノルウェー・デンマーク国際共同AZCO（Auroral Zone Conjugate Observation）大気球実験を実施した。ノルウェーの Abilver より放球し、放球地点とアイスランドの Husavik で気球からのデータを受信した。

日本からは、VLF自然電波観測装置とオーロラX線撮影装置を搭載した大気球3機を準備し、このうち2機の放球及び50時間におよぶ長時間データ収録に成功した。大気球のVLF波動観測は、大気球の周囲に巻いたループアンテナを用いることにより高感度で受信することができた。大気球で受信した0.3~10KHzのワイドバンドおよび750Hz, 2KHz, 4KHzの検波強度データがテレメータにより受信点に伝達された。

地上でのVLF観測点として、ノルウェーの Abilver, Andoya, アイスランドの Husafell, Tjornes, Isafjordur の3点およびアイスランドの地磁気共役点である Syowa で同時観測を実施した。今回の大気球実験では、気球がL値として4.5から7以上の領域を通過したため、プラズマポーズからオーロラ帯に特徴的な各種のVLFエミッションを連続的に観測することができた。講演では、大気球のデータと地上共役点・多点データとを比較することにより、VLFエミッションの広域伝搬特性、発生領域の推定について報告する。





# ポーラーパトロール気球(PPB)と中層大気力学

山中大学(宇宙研\*)・山崎孝治(気象研)・神沢 博(極地研)

## 1. はじめに

現在28次隊により実施準備中のPPB計画の成否を決めるポイントの一つである南極成層圏大気の実態の把握については、PPBW Gの最初の報告<sup>1)</sup>以降、特にMAP期間中の諸観測結果が整理されるに及んでかなり充実してきた。しかし例えば最近注目を集めているオゾン量激減現象に多くの謎があるようにまだまだ完全とはいえず、逆にPPBを積極的に利用して飛躍的な解明を目指すことが期待される。これら両面の問題を気球工学・大気力学の接点的立場から論じてみよう。

## 2. PPB航跡予想の現状

以前の報告<sup>2)</sup>では主に北極域の資料に基づき盛夏季が成層圏風系の定常性から見て周回観測の唯一のチャンスであると結論し、その場合約30km高度を飛翔する気球はほぼ同緯度上(±2°)を西回りに約22日で周回すると予想した<sup>3)</sup>。

ここでは先ず新しい南極域資料<sup>4)</sup>に基づき、平均周回時間(月毎・緯度毎の平均東西風速から計算)と平均南北偏位(月毎・緯度毎の大規模経度変動幅<sup>5)</sup>から)とを求めたものを示す(表1)。前述の盛夏季の予想が確認される他、厳冬季の南北偏位は北極域の予想よりはるかに小さいことがわかる。

冬季の風系変動度を確め春秋の弱風期について調べる目的で、次に12ヵ月毎の実測値を基に空気塊の3次元的回帰<sup>6)</sup>を行なった(図1)。その結果25km以低60°S以南の領域では冬でも回帰性が良く、また弱風期の軌跡北端は南米南端をかすめる程度であることがわかる。

以上の予想は気球がほぼ定高度を飛び、かつ実測から漏れた小規模変動の寄与がない場合に有効である。現実には地上気象や人員の条件で制約を受けようが、最近の工学的進歩<sup>7)</sup>

から日出没のある季節・緯度でも気球高度はかなり良く保持できよう。しかし小規模変動の寄与については保証されない。結論的に盛夏季が最善であることは変わらないが、次善として厳冬季があること、他時季実施や不測の事態を考え国際的調達などに留意すべきであろう。

## 3. PPB利用の大気力学研究計画

気球航跡の問題は物質輸送の問題とほぼ同値であるので、現実の航跡解析から南極成層圏大気循環の実態が先述の小規模変動の貢献度まで含めて解明できる。特に25km程度以上の資料としてはARGOS追尾のみでも過去にない高分解能かつ高精度のものとなる。

小規模風速変動は内部重力波とそれが引起す作用であろうと予想され、これらが熱圏に及ぶ全地球大気に無視し得ぬ効果を与えていることはほぼ確実視されているが、実験的検証は不完全である。南極域はそれらの頻発域の一つと予想され<sup>8)</sup>、風速計搭載<sup>9)</sup>による観測を考えている。この場合データ圧縮・伝送系の問題が残るが、他物理量・他測器との同時観測等を含め過去にない多くの可能性を秘めている。

ALT(km) JUL AUG SEP OCT NOV DEC JAN FEB MAR APR MAY JUN

40	3	2	3	7	-27	-11	-12	-20	8	4	3	3
35	3	2	3	6	-14	-17	-10	10	4	3	3	3
30	3	3	3	5	-63	-23	-23	-40	13	6	4	3
25	4	3	3	5	48	-44	-53	113	16	7	5	4
20	5	5	5	6	17	∞	167	36	18	11	7	6

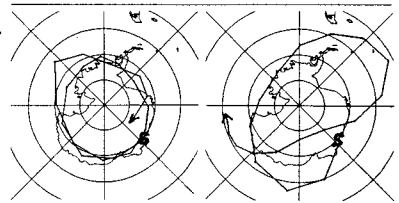
表1→

PPBの周回時間(上;単位は日)と南北偏位(下;単位は緯度差)の予想結果。

40	2	3	5	9	12	3	1	17	2	1	3	2
35	2	3	5	8	∞	4	1	∞	3	2	3	3
30	2	3	4	7	23	7	2	24	4	3	4	3
25	3	3	4	8	11	21	7	9	5	4	4	3
20	4	5	6	10	8	∞	26	8	7	6	4	4

図1→

昭和基地(S)上空約20kmを提案した空気塊の10日間の軌跡。左は1982年9月10日、右は同年11月10日出発の場合。



\*1987年1月以降の所属: 山口大教育。1) 西村他, 1984: 第7回本シンポジウム, #47; その他。詳細は 昭和59年度 極地研究小集会「ポーラーパトロール気球の開発と利用技術」報告書参照。2) Barnett & Corney, 1985: MAP Handbook, 16, 47-137; および Koshelkov, 1985: Ibid, 15-35。3) 帯状波数 $k$ および2成分の流速(等ジオポテンシャル線と等圧線の厚比振幅)。4) Yamagaki, 1986: Geophys. Res. Lett., in press。5) 太田他, 1986: 昭和61年度宇宙研大気地球シンポジウム, II-5。6) 田中他, 1986: 第9回極地研究気圏シンポジウム。7) Yamanaka et al., 1985: J. Atmos. Ocean. Tech., 2, 472-481; および同じく 1985: Rev. Sci. Instrum., 56, 617-622。

## SSC 時の磁気流体波の磁気圏内伝播について

藤田 茂 (気象庁 地磁気観測所)

この研究の最終的な目的は、太陽風中のshock/discontinuityに伴う磁気圏の圧縮によって発生した磁気流体波の磁気圏内伝播について 3次元数値シミュレーションを用いて研究することである。現在はその予備段階として、この磁気流体波の磁気圏内伝播についての観測結果の解釈について、定性的な予測をまとめているところである。

まず、SSCに伴う磁気圏内の擾乱として、地上では見られない顕著な地方時依存性があることが知られている。例えば、静止軌道においては、

## 1) 昼間側

圧縮性の磁場擾乱 (Kokubun, 1983)

粒子密度の圧縮 (Korth et al., 1986)

## 2) 夜間側

磁場擾乱の振幅は小さいか又は負 (Kokubun, 1983)

粒子密度もほとんど無変動 (Korth et al., 1986)

となることが観測されている。しかし、夜間側においてプラズマの擾乱は振幅は小さいが圧縮性のままか、反磁性(diamagnetic)になるのかは決着がついているわけではない。これに関しては、理論的な考察もあまりされておらず、定性的に考えると、一つの可能性として、昼間側の磁気圏界面で発生した磁気音波(圧縮性)が、夜間側まで伝播する上で、磁気圏の夜間側へ向けての広がりのため、単位体積中の波のエネルギーが減少するために、夜間側の磁気圏では、波の振幅が小さくなることが指摘できる。この場合は圧縮性のままであると考えられる。一方、磁気音波が夜間側の磁気圏に入り込んだ際、もしこの場での高エネルギー粒子の密度が大きい( $\beta$ が大きい)場合には、圧縮性の磁気音波(fast mode)が反磁性を示す磁気音波(slow mode)に変換する可能

性もある。

なお、観測の方でもこれから明らかにしなければならないことも残っている。例えば、太陽風中のshock/discontinuityに伴う磁気圏の圧縮(shockの前面と後面のdynamic pressureの差)と地上で観測される磁場擾乱の振幅の関係については、Siscoe et al. (1968)がPioneer 6のデータを用いて観測的に研究している。彼等は、太陽風の圧力と磁気圏内の磁気圧のバランスから得られる磁気圏のモデル磁場による予測値と比較して、地上で観測されるものはその半分程度であることを主張した。彼等は予測値と観測値の差を太陽風中の磁場やRing Currentの影響としている。一方、Smith et al. (1986)はISEE-3のデータを用いて解析し予測値と観測値は一致するとしている。Smith et al.はSiscoe et al.のデータはSIとSSCの両者を使用したからであるとしているが、なぜ、SIとSSCの間でこのような差があるのかは言っていない。これから統計的な研究が待たれる。

現在の所、以上の点を中心に考えている所であるが、結果は講演時に話す予定である。

## 参考文献

- Kokubun (1983), J.G.R., 10025  
 Korth et al. (1986), Solar Wind-Magnetosphere Coupling ed. by Kamide and Slavin, 391  
 Siscoe et al. (1968), J.G.R., 4869  
 Smith et al. (1986), Solar Wind-Magnetosphere Coupling ed. by Kamide and Slavin, 345

## 1982年6月12日のSCについて

平澤 威男      国立極地研究所

**要旨** 南極科学委員会 (SCAR) の超高層物理作業部会 (Working Group on Upper Atmosphere Physics; UAP WG) では June 10-13 1982, および JUNE 27-29 1982 の2つの期間、南極の全超高層物理観測のデータを持ち寄り、南極地域における超高層物理現象の総合的な解析を試みている。その目的は南北両半球における現象の相異を同時のデータを用い調べることにあるが、また、南極は極点をほぼ中心とした大陸で海である北極にくらべ多くの観測点を極冠地域に有する利点活用し、研究することにある。

集められたデータの種類の約20点のマグネトグラム、13のCNA記録、7点のVLF記録、3点の all-sky記録、約7点のアイオノグラム、また人工衛星 ISEE-3、IMP 8 の磁場及び NOAA-6 による粒子のデータなどである。また昭和基地における総合観測による各種データも利用された。これらのデータを用いた解析は6つのテーマに分け各グループ毎に研究が進められ、平澤他2名はこの解析期間中6月12日に起こった典型的なSC現象の解析を担当することとなった。

このSCは1982年6月12日14時43分 (UT) 頃に起り、Mamanbetsuの記録によるとAmplitude 55 nT (H成分) で、最大Range 307 nT (H成分) の Storm を作った典型的な現象である。上記の各種データを用い解析が進められその結果の概要は次の通りである。

1. このSC生起時夜側の領域においては Substorm, 南極域はほぼ全域にわたりCNAが観測されている。また昭和基地のデータでは、ULF、VLFが励起されている。即ち、各種の随伴現象を持った典型的なSCと考えてよい。
2. マグネトグラムのみならずCNA, VLF-ULFなど各種データも併用し各観測点におけるより正確なSCの onset time を決定し、極域におけるSCの伝播特性が求められた。即ちSCは最初に昼側 (地磁気地方時、10~12時) の地磁気緯度  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$  地域で観測され、Polar cap を横断し、約60~70秒後に夜側の極域に到達する。

## アイスランド3点で観測されたVLFオメガ電波 と 地磁気サブストームとの関係

荒木喬（弘前大），佐藤夏雄・藤井良一（極地研），菊池崇（電波研）

### 1) はじめに

昭和60年8月12日からアイスランド3点においてノールウェーオメガ局の同時観測を開始して、現在まで約一年分のデータが取得されたのでそのデータ解析の結果について報告する。特にサブストームとVLF信号の電界強度および位相変化について報告する。

### 2) データ処理

アイスランドで取得されたデータはデジタルMTにてアイスランド大学から国立極地研究所へ送られ、データ編集の後、弘前大学へ送られてくる。弘前大学では情報処理センターのACOS-850（NEC）によりサマリーデータを作成し、その後、センターと学部間に張り巡らされたLANシステム（OKI）を利用して解析を行った。

### 3) 解析結果

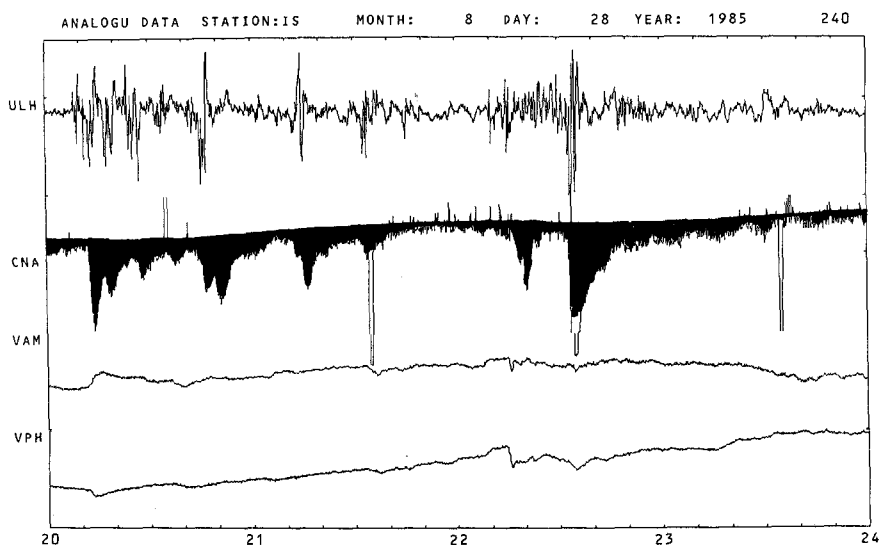
アイスランドにおける3ステーション同時観測データの解析からサブストームに伴うオメガ信号の位相と電界強度の変動が数多く観測された。以下にそれらの主な特徴を示した。

- (1) サブストームの開始と同時にVLF位相の進み（電離層降下）が生じ、ステーションによっては電界強度の増加や減少が観測された。
- (2) サブストームの後、周期が3分ぐらいの小さな振動がVLF位相及び電界強度に観測された。
- (3) サブストームの開始に先立って、約20分ほど前にVLFの位相と電界強度に変化がみられた。

以下にそのデータの一例を示す。

### 4) 参考文献

T. Araki et al., 極地研MEM., NO. 42, 45-51, 1986



## 極冠内 A E 指数算出のための南極地磁気観測

荒木 徹、杉浦正久、亀井豊永（京大理）、平沢威男（極地研）、S. B. Mende（Lockheed Space Sciences Lab.）

現在、京都大学地磁気世界資料センターで算出しているオーロラエレクトロジェット（A E）指数には、北半球オーロラ帯に沿って地磁気緯度 60 度から 71 度に分布する 12 観測所（図 1）のデータが使われている。しかし、惑星間空間磁場（IMF）が北向きに転ずるにつれオーロラオーバルが高緯度側へ縮んで行くので、極冠内電離層に大きな電流が存在しても A E 指数に殆ど変化が現れぬ場合も生じうる。この電流をモニターするには極冠内緯度円に沿う観測所からのデータを用いて A E 指数を作ればよいが、北半球では極冠の大半が北極海になるので不可能である。

南極では、図 2 からわかるように、例えば 80 度緯度円（図の緯度は 9 次の係数まで用いて計算したもの）が海岸から内陸へと広がるので、これに沿って観測点を設ければ極冠内 A E 指数算出が可能になる。

Lockheed Space Sciences Lab. が、Automatic Geophysical Observatory (AGO) を開発しているので、日本側から磁力計を提供できれば上記計画が実現する。また、極地研も無人観測の経験を持っているし、29 次隊ではこれを更に発展させる予定になっているので、観測点の一部を分担できれば学問的に大きな価値があると思われる。

図 3 は、北向き IMF のときに A E 指数が小さいにもかかわらず極冠内（Thule）に大きな変化が現れている例である。

昭和基地の観測はかなり充実し定常状態に入っただと考えられ、アイスランドでの共役点観測も軌道に乗ってきた。次のステップとして極地研の超高層関係観測が目指すべき領域は極冠であると思われる。

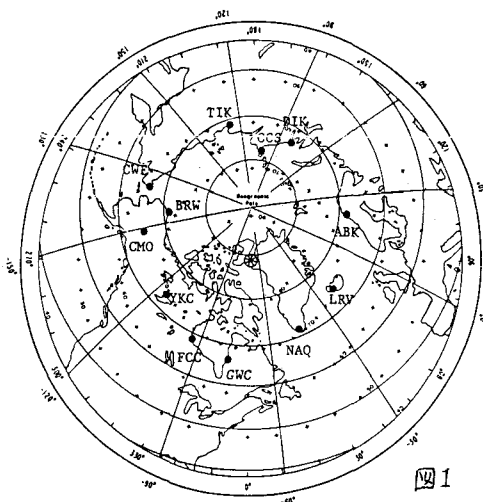


図 1

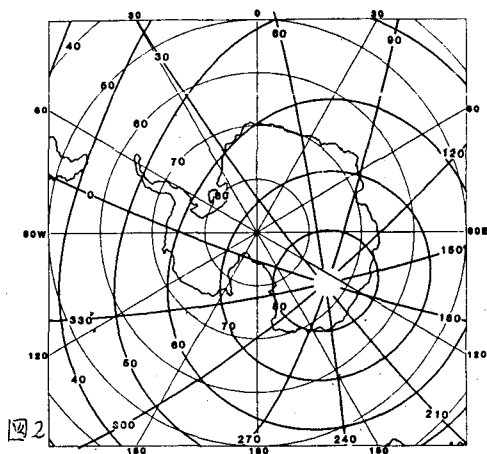


図 2

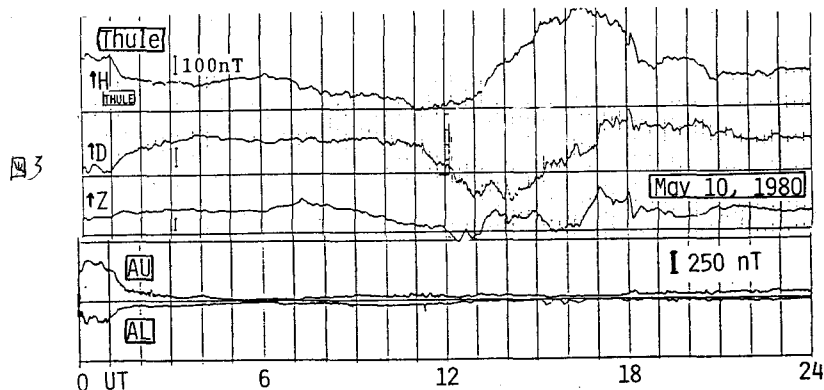


図 3

## THERMOSPHERIC STRUCTURE ASSOCIATED WITH DISCRETE LEVELS OF AURORAL ACTIVITY

S. MAEDA<sup>1</sup>, D.S. EVANS<sup>2</sup>, T. FULLER-ROWELL<sup>1,3</sup>  
 (<sup>1</sup> CIRES, U. of Colorado, <sup>2</sup> NOAA/SEL, <sup>3</sup> U. College of London)

Dynamical and compositional structures of the thermosphere associated with discrete levels of auroral activity will be discussed. The activity level is given in terms of an estimated hemispheric power input due to particle precipitations. The Total Energy Detector on board the TIROS/NOAA satellites monitors the energy flow carried by the precipitating particles. The energy flux observations made during a single pass provide an estimate of the total amount of particle energy delivered to a single auroral hemisphere.

Global patterns of Hall and Pedersen conductivities were created by using information of particle energy spectrum constructed from the TIROS/NOAA particle observations for each of the levels of activity.<sup>(1)</sup> The ion drift data from the Millstone Hill radar observatory have been ordered by the same TIROS/NOAA activity level to create electric field patterns.<sup>(2)</sup> The information of the electrical conductivities and electric field has been used to construct the global patterns of particle and Joule heatings (Figs. 1 and 2). The peak magnitudes of the zonally averaged particle heating rate per unit mass are 3 J/kg/s for the level 5 and 8 J/kg/s for the level 9. These are much smaller than the peak magnitudes of the Joule heating rate which are about 8 J/kg/s and 90 J/kg/s for the two levels, respectively. The peak altitude of the Joule heating is higher than that of the particle heating. It can be inferred that the effect of the Joule heating on the thermospheric dynamics and thermo-dynamics is much greater than the effect of the particle heating. These models of the high latitude heatings have been incorporated with a zonally averaged thermospheric model.<sup>(3,4)</sup>

Global patterns of temperature and mean molecular mass for moderate and large auroral disturbances are presented (Figs. 3 and 4). For the moderate disturbed condition, a temperature minimum can be seen at mid latitude above 200 km height, and the latitudinal variation of mean molecular mass is small. For the large disturbances, a temperature bulge appears at high latitude, and the mean molecular mass largely increases in the heating region.

## REFERENCES

1. T. Fuller-Rowell et al. 1986 The 6th International Symposium on solar-terrestrial physics of SCOSTEP.
2. J.C. Foster et al. 1986 G.R.L., 13, 656.
3. T. Fuller-Rowell 1984 J.G.R., 89, 2971.
4. 前田 幸也 1986 地球電磁気学全集第4巻 磁気圏と電離圏 22.

ZONAL AVERAGE OF PARTICLE HEATING RATE  
IN J/KG/SEC  
FOR POWER INDEX LEVEL 5

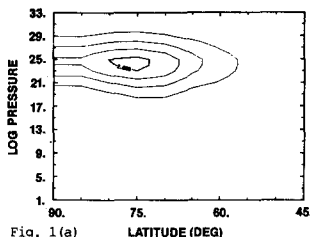


Fig. 1(a) LATITUDE (DEG)  
Joule heating rate (J/KG/SEC)

ZONAL AVERAGE OF PARTICLE HEATING RATE  
IN J/KG/SEC  
FOR POWER INDEX LEVEL 9

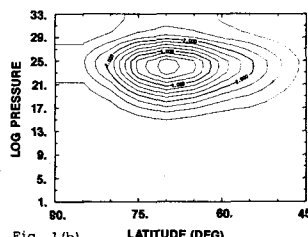


Fig. 1(b) LATITUDE (DEG)  
Joule heating rate (J/KG/SEC)

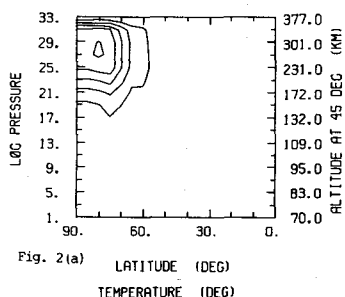


Fig. 2(a) LATITUDE (DEG)  
TEMPERATURE (DEG)  
ALTITUDE AT 45 DEG (KM)

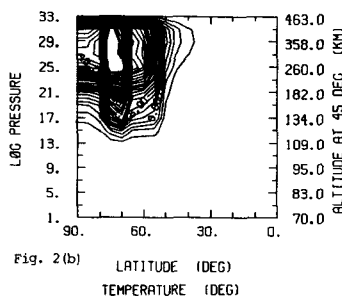


Fig. 2(b) LATITUDE (DEG)  
TEMPERATURE (DEG)  
ALTITUDE AT 45 DEG (KM)

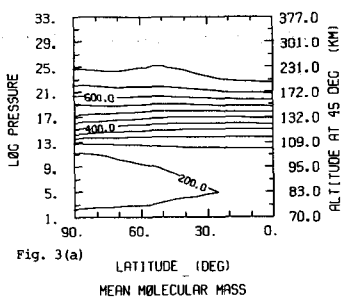


Fig. 3(a) LATITUDE (DEG)  
MEAN MOLECULAR MASS  
ALTITUDE AT 45 DEG (KM)

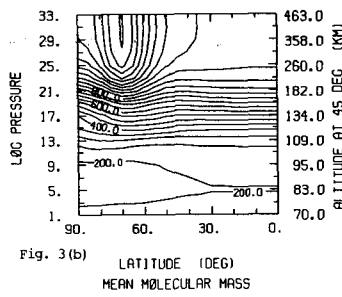


Fig. 3(b) LATITUDE (DEG)  
MEAN MOLECULAR MASS  
ALTITUDE AT 45 DEG (KM)

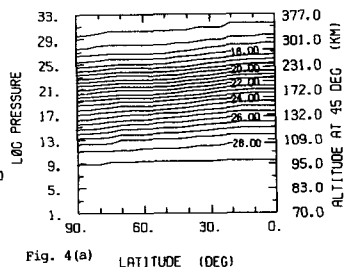


Fig. 4(a) LATITUDE (DEG)  
TEMPERATURE (DEG)  
ALTITUDE AT 45 DEG (KM)

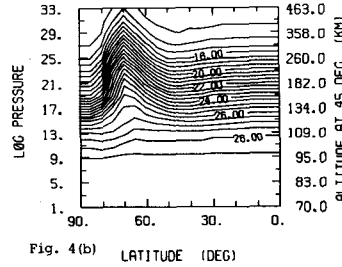


Fig. 4(b) LATITUDE (DEG)  
TEMPERATURE (DEG)  
ALTITUDE AT 45 DEG (KM)

Figures 2(a)-4(a) are the global patterns calculated for the 24 hours simulation time under the condition of the moderate activity (level 5). Figures 2(b)-4(b) are the same as Figs. 2(a)-4(a) except that the activity level is 9.

## 極域におけるHFドップラ観測 (2)

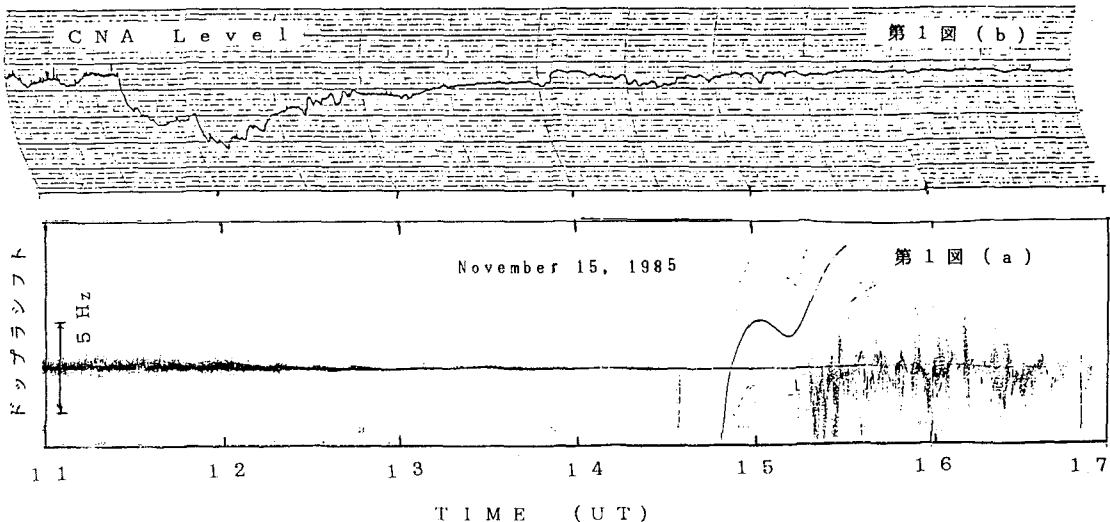
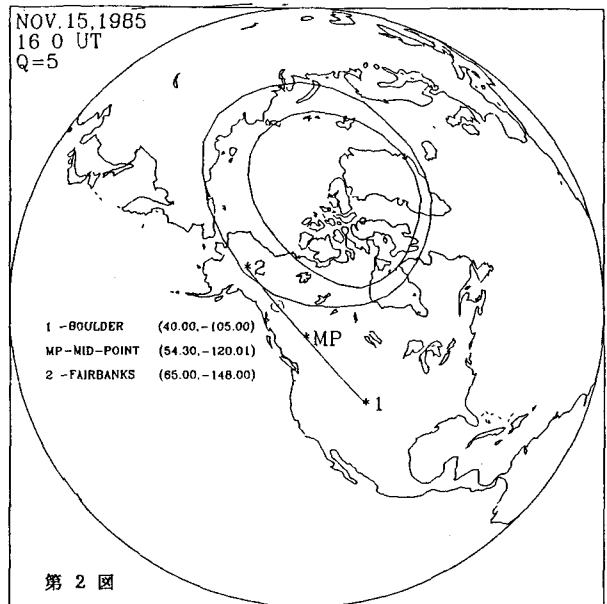
南 繁行 (大阪市大工学部) J. Peterson, R. Hunsacker (アラスカ大)

極域におけるHFドップラ観測を Fairbanks, Alaska (65.N, 148.W)で行っている(去年の本シンポジウム)。ここでは極域において特徴的なHFドップラデータのうちスプレッド幅が5 Hzを越える現象についてCNA (Cosmic Noise Absorption) データを使って検討した結果について報告する。

使用している電波はWWV, WWVHの10 MHzである。第1図(a)では15 UTごろに5 Hzを越えるドップラシフトがあらわれている。この現象は電波の伝ばん路においてオーロラによる散乱がおきるため発生すると考えられるが、そのときの受信点 Fairbanksにおける30 MHzリオメータによる粒子降り込みデータ(b)からは、その回復期においてこの現象が発生したことがわかる。このことは他の多くの場合にもあてはまることがわかった。ところで

第2図は当日(November 15, 1986)、16.00 UTにおける、オーロラオバールの概略の位置を示している( $K_p=5$ )。

WWV-Fairbanks のパスには2nd hopとしても電離層反射点にオーロラはなく、約500 km 離れている。一方 Fairbanks は16.00 UTにはオーロラの直下であり、オーロラの発達に伴うオバールの南下によって伝ばん路上に大きな散乱現象が現れたと解釈するよりも、多回反射した電波がオーロラの下端で反射して起きたためと考えられる。事実、この期間中も、図のようにつねに安定した信号も受信されており、これは1ないし2回反射の成分とみなされる。



## 昭和基地マルチビームリオメータによる 電離層吸収観測 初期結果

山岸久雄（国立極地研究所） 菊池 崇（電波研究所） 池田修一・芳野超夫（電気通信大学）  
佐藤夏雄（国立極地研究所） 福西 浩（東北大理）

### 序

リオメータは通常  $60^\circ$  程度の広い指向性のアンテナを用い、観測点上空の半径 60km 程度の領域内の電離層吸収を測定するものであるが、電離層吸収は上記範囲内で必ずしも一様ではない。例えば夜間のオーロラに伴う吸収領域の幅は 18 ~ 36 km という報告がある（Poulter and Nielsen, 1982）。このような吸収の微細構造を調べ、またその伝播の様相を求めるために、複数の指向性の鋭いアンテナビームによるリオメータ観測が最近行なわれるようになった。現在 Ramfjord（ノルウェー）、スピッツベルゲン等でこの種の観測が行なわれている（Hargreaves et al., 1979; Nielsen, 1980; Haldoupis et al., 1982）。南極昭和基地でも 26 次隊よりマルチビームのリオメータ観測が開始された。本講演では昭和基地マルチビームリオメータのシステム概要、観測の初期結果について報告する。

SEP. 16, 1985

### システム概要

受信周波数は吸収量が大きく得られる 30MHz を選んだ。アンテナ素子は 14 段同軸コリニアアンテナ（長さ 48m）であり、これを  $5/8$  波長（6.2m）間隔で東西方向に 8 本、南北方向に 8 本並べ位相合成アレイを構成する。アンテナビームの半値幅は  $13^\circ$  であり、ビーム方向は天頂、磁南、磁北、磁西（それぞれ天頂角  $30^\circ$ ）である。またアンテナ受信電力の一部を可変式の位相器に導き、アンテナビームを磁南北方向及び磁東西方向に各々 11 step で掃天することができる。これら 6 本（固定方位 4 本、掃天 2 本）のアンテナビームに各々リオメータを接続し観測が行われる。

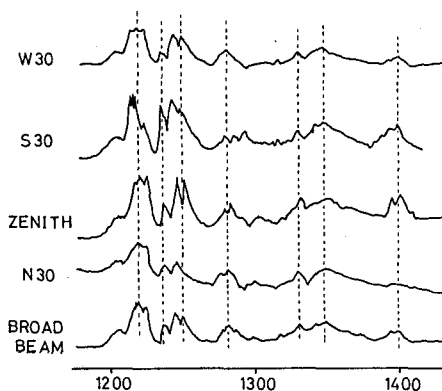


図 1. 均一な電離層吸収の例

### 観測結果

- (1) CNA 脈動 磁気嵐の直後、昼間側で Pc4-5 帯の CNA 脈動がしばしば発生する。異なるアンテナビーム間で吸収波形を比較すると、半径 60km の範囲内で i) 均一な吸収（図 1） ii) 不均一な吸収（図 2） iii) 伝播性の吸収 がある。
- (2) オーロラ吸収 オーロラアークに伴う鋭い吸収（absorption spike）がオーロラアークとともに移動してゆく状況がホトメータとの同時観測により明瞭に観察された。

### 謝辞

本アンテナの建設に当たっては太瀬正美氏より御指導を頂いた。また国内予備実験に当たっては東大地球物理研究施設（柿岡）の敷地をお借りした。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

1. Poulter and Nielsen, JGR, 87, 2549-2552, 1982.
2. Hargreaves et al., JGR, 84, 4245-4250, 1979.
3. Nielsen, JGR, 85, 2029-2098, 1980.
4. Haldoupis et al., JGR, 87, 1541-1550, 1982.

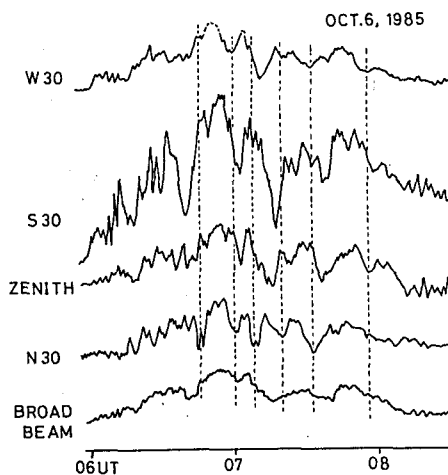


図 2. 不均一な電離層吸収の例



## FM/CWイオノゾンデによる極域電離層の観測

— 速報 —

野崎寛朗 菊池崇

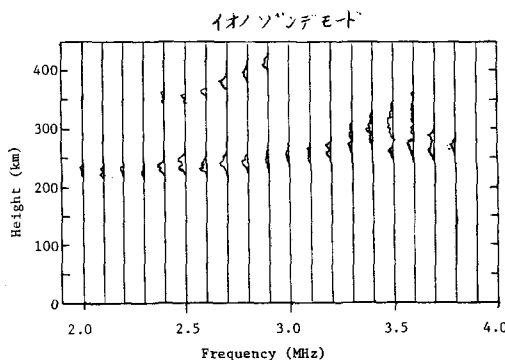
(電波研)

旧式化した現用の電離層観測機(9B)に代るイオノゾンデの開発が急がれているが、パルス方式に代え、FM/CW方式のイオノゾンデを試作し(PCS1)前回のシンポジウムで報告した。送受信機と制御マイクロコンピュータで構成されたシステムは27次南極観測隊によって昭和基地に設置され、1986年3月から運用を開始した。送受信機切替時のパルス波形が悪く、スファリアが多い等の初期故障はあるが、現地での調整により6月から予定した性能が得られるようになった。

現用のイオノゾンデに比べ、送信電力のピークが低く、通信や他の観測に障害を与えないので連続観測が可能になった。またマイクロコンピュータによる制御、データ処理をとり入れ、多様なモードによる運用ができる。

256レベルの信号強度分解能があり、全周波数を掃引するイオノゾンデモードでは電離層エコーとノイズ成分との判別が容易になり、またスプレッドしている電離層もその構造がわかる。

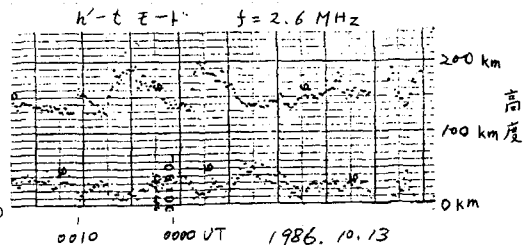
現在では主として3 MHz帯の固定周波数で運用し、電離層の高度変化とエコー強度をサンプリング間隔1秒で連続観測している(h'-fモード)。電離層が静かな時は充分なエコー強度が得られ、約80分の時間率で観測できる。



ドップラ観測に比べ、速度の分解能は悪いが、実際の反射高度が得られる。2分〜30分周期の波動が電離層高度、信号強度に観測されている。振幅は高度で数十km、速度で数十m/sの程度であり、信号強度と高度変化は逆位相にある。これは水平方向の波動が数百kmある事を意味し、重力波を観測していると思われる。

電離層観測機の仕様比較

	PCS1 (パルスFFM/CW)	9B (現用)
観測周波数 (MHz)	2 ~ 16	0.5 ~ 15
観測高度 (km)	450	800
高度分解能 (km)	1.76	12
方式	パルスドチャープ	シングルパルス
パルス幅 (μsec)	225 ~ 4095	80
周波数掃引速度 (kHz/sec)	25, 100, 500	LOG
送信電力 (W) ピーク 平均	20 10	10 k 40
受信機入力感度 (dBm)	-100	
入出力インピーダンス (Ω)	600	600
強度分解能	8 bit	1 bit
観測モード	h'-f (イオノゾンデ) h'-t 連続 分反射	h'-f (イオノゾンデ)
制御	MUP=i8086 (8MHz) RAM=384 kB ソフトウェアによるモード切替	時計制御
記録	打点式レコーダ プリンタコピー	35m/mフィルム



## 航行衛星による昭和基地の測位精度と 地磁気擾乱の関係

五十嵐 喜良、小川 忠彦、前野 英生、倉谷 康和  
(電波研究所)

現在、NNSS衛星を用いた位置決定法は広く利用されており、一般的には、20m程度の精度で位置が求まるとされている。昭和基地でも、過去に天測点の位置決定などが短期間行なわれた(Shibuya et al., 南極資料, 76, 73, 1982; Shibuya, J. Phys. Earth, 33, 453, 1985)。衛星による位置決定法では、一般に互いにコヒーレントな2周波(NNSSでは150と400MHz)を用いて、電離圏の全電子数に起因する伝搬遅延誤差を取り除くようになっており、原理的には全電子数の変化は測位に大きな影響を与えないとされている。しかし、オーロラ電離圏では電子密度不規則構造(irregularities)による激しいシンチレーションが頻発するため、NNSSの150と400MHz波は独立に強く散乱されることになり、たとえ2周波を用いても測位誤差は、中低緯度と比べて増大すると考えられる。シンチレーションに加えて、電子密度の大きな空間勾配の存在も見逃せない。ここでは、多量のデータを統計解析することによりこれら電離圏擾乱の測位誤差への影響を調べる。

1985年に、昭和基地電離棟内に設置された2周波NNSS航法装置により、延べ245日(総衛星受信パス数9565パス)にわたって電離棟の測位データが得られた。観測期間中、6個のNNSS衛星が利用でき、1個の衛星が飛来する毎に、測定条件(衛星最大仰角と受信継続時間)が満たされれば、電離棟屋上にある受信アンテナの位置(緯度、経度)が決定された。

9565パスの統計結果は以下のようになる。

- (1) 昭和基地電離棟の平均位置は $(69^{\circ} 00' 19.41'' \pm 0.03'' \text{S}, 39^{\circ} 34' 41.26'' \pm 0.03'' \text{E})$ 。緯度の標準偏差は $3.89''$ (120.6m)、経度のそれは $1' 06.14''$ (735m)。
- (2) 上記平均位置からの各測位点の平均距離は149.8mで、全体のデータの72.7%が100m以内に、87.5%が200m以内に、91.7%が300m以内に、93.9%が400m以内に、95.2%が500m以内に入る(図1)。
- (3) 地磁気擾乱度(昭和基地K-指数)が大きくなると、1日1~2パスほど位置決定ができなくなる。
- (4) K-指数の増大とともに、平均の緯度はあまり変化しないが、平均経度はバラつきが大きくなる。
- (5) K-指数の増大とともに、平均位置からの各測位点の平均距離( $\bar{r}$ )は大きくなる。 $\bar{r}$ は $12.87K + 110.3\text{m}$ で与えられる(図2)。

上記(3)、(4)、(5)から、位置決定に与える地磁気擾乱(電離圏擾乱)の影響は明白であろう。過去において、このような地磁気擾乱の影響が明確な形で指摘されたことは無いように思う。今観測では2周波法を用いており、全電子数の存在による伝搬遅延誤差は取り除かれているはずである。にもかかわらず、地磁気擾乱の影響が見い出されたことは、別の原因(シンチレーションや電子密度の強い空間勾配など)で150/400MHz波が独立に散乱されることを強く示唆する。

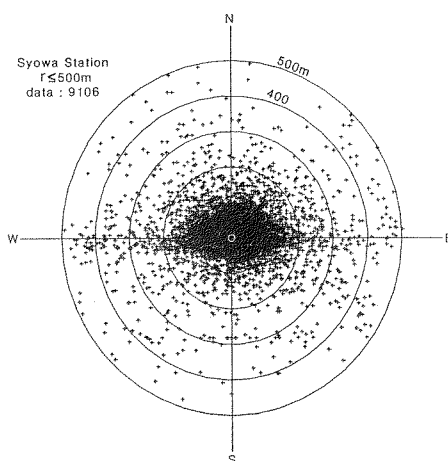


図1 電離棟平均位置からの各測位位置のずれ。平均位置からの距離が500m以下のデータだけが示してある。

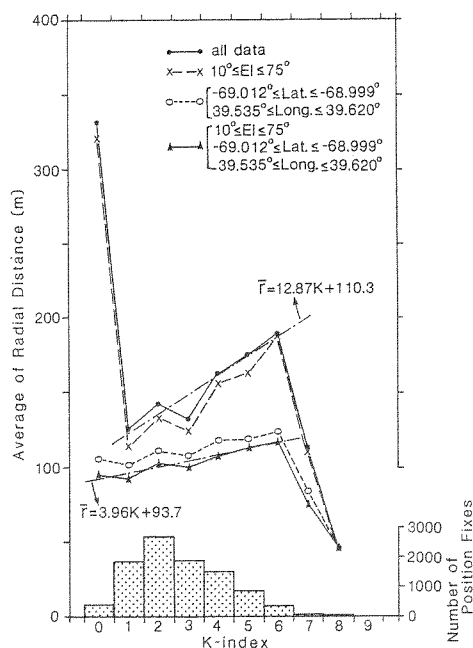


図2 K-指数に対する平均距離の変化。・印と▲印の回帰直線は $1 \leq k \leq 6$ のデータから求めた。

# V L B I 観 測 量 に 及 ぼ す 極 域 電 離 層 の 影 響

高橋富士信、皆越尚紀（電波研究所）

はじめに：超精密測地を目的とするV L B I 実験は2周波数(8GHz, 2GHz)での数10ピコ秒の遅延計測精度を与えるため、分散性媒質の遅延に与える寄与を求めることが可能である。この寄与の大部分は各V L B I局上空の電離層TECによるものと考えられ、V L B I 2周波数観測は電離層のモニターとしての役割を果たすことが期待されている。

電波研究所は84年から本格的V L B I 観測に入っており、太平洋横断・北太平洋・西太平洋・東太平洋・極包囲の各実験に参加してきた。ここで取得したデータベースを利用して、電離層からプラズマ圏の研究への応用を試みた。上記の観測シリーズには、アラスカのフェアバンクス局も参加しており、高緯度から低緯度まで広い範囲について対象とすることが出来る。将来、南極にV L B I 施設が設置される予定があるが、極域電離層の影響を検討するには当面アラスカ局の分析が重要であろう。こうした観点から85年10月の西太平洋実験について解析を試みた。

観測量：V L B I で求められる遅延量 $\tau$ は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{1}{c} P N S W B \cdot S + \tau_a + \tau_c + \tau_e \quad (1)$$

ここでP、N、S、Wはそれぞれ歳差、章動、自転、極運動変換行列であり、 $B$ は基線ベクトル、 $S$ は星方向ベクトルである。 $\tau_a$   $\tau_c$

$\tau_e$  はそれぞれ中性大気、分散性媒質、時計差による遅延への寄与分である。このうち、 $\tau_e$ だけが分散性を持つので、2周波数観測により分離することができる。この $\tau_e$ は次式で与えられる。

$$\tau_e = \frac{80.31}{c F^2} [TEC_1 \cdot f(El) - TEC_2 \cdot g(El)] \quad (2)$$

ここで $F$ ：観測周波数、 $TEC$ ： $\lambda$ 局での天頂全電子数、 $f, g$ はMAPPING関数である。V L B I では常に2局の遅延量の差を求めるため、直接には各局別のTECを測定できない。今回は連続2観測を多基線について複合して最小2乗法を行い、各局別のTECを求めるを試みた。観測方程式は次の通り。

$$\begin{pmatrix} T11(KAS-GIL) \\ T12(KAS-GIL) \\ T11(KAS-MOJ) \\ T12(KAS-MOJ) \\ T11(KAS-VND) \\ T12(KAS-VND) \\ T11(KAS-KAU) \\ T12(KAS-KAU) \\ T11(KAS-KWA) \\ T12(KAS-KWA) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f1 & f1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f2 & f2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f1 & 0 & f1 & 0 & 0 & 0 \\ f2 & 0 & f2 & 0 & 0 & 0 \\ f1 & 0 & 0 & f1 & 0 & 0 \\ f2 & 0 & 0 & f2 & 0 & 0 \\ f1 & 0 & 0 & 0 & f1 & 0 \\ f2 & 0 & 0 & 0 & f2 & 0 \\ f1 & 0 & 0 & 0 & 0 & f1 \\ f2 & 0 & 0 & 0 & 0 & f2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} AKAS \\ AGIL \\ AMOJ \\ AVND \\ AKAU \\ AKWA \end{pmatrix}$$

解析結果：解析結果の一部を下に示す。

上図は鹿島について本方式とファラデー回転法とを比較している。概ね一致しているので本方式の有効性が分かる。下図はアラスカ局の同結果である。この日は特に顕著な変化は見られないが、更に検討を進め、南極V L B I における影響の解明に役立てたい。

